

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA DE ARAÇATUBA

Programa de Pós-graduação em Ciência Animal

Rodrigo Antonio Fernandes

**Correlação entre Densidade Radiográfica - DR e Absorciometria por Raios-X de
Duas Energias - DXA: Estudo “*in vitro*”.**

Araçatuba – SP
-2019-

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA
CÂMPUS DE ARAÇATUBA

**Correlação entre Densidade Radiográfica - DR e Absorciometria por Raios-X de
Duas Energias - DXA: Estudo “*in vitro*”.**

Rodrigo Antonio Fernandes
Orientador: Prof. Assoc. Guilherme de Paula
Nogueira

Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina Veterinária – UNESP, Campus de Araçatuba, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciência Animal (Fisiopatologia Médico Cirúrgica).

Araçatuba - SP
- 2019 –

F363c	Fernandes, Rodrigo Antonio Correlação entre Densidade Radiográfica - DR e Absorciometria por Raios-X de Duas Energias - DXA: Estudo “in vitro” / Rodrigo Antonio Fernandes. -- Araçatuba, 2019 66 p. : il., tabs., fotos Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Medicina Veterinária, Araçatuba Orientador: Guilherme de Paula Nogueira 1. Densitometria Óssea. 2. Densidade Radiográfica - DR. 3. Absorciometria por Raios-X de Duas Energias - DXA. 4. Escada de alumínio. 5. Tons de cinza. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Medicina Veterinária, Araçatuba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Araçatuba

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: Correlação entre Densidade Radiográfica - DR e Absorciometria por Raios-X de Duas
Energias - DXA: Estudo "in vitro".

AUTOR: RODRIGO ANTONIO FERNANDES
ORIENTADOR: GUILHERME DE PAULA NOGUEIRA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em CIÊNCIA ANIMAL, área: Fisiopatologia Médica e Cirúrgica pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. GUILHERME DE PAULA NOGUEIRA
Departamento de Apoio, Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/Unesp


Dr. YURI TANI UTSUNOMIYA
Doutor em Medicina Veterinária pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Câmpus de Jaboticabal/Unesp

Prof. Dr. MARCO ANTONIO RODRIGUES FERNANDES
Departamento de Dermatologia e Radioterapia / Faculdade de Medicina - Câmpus de Botucatu/Unesp

Araçatuba, 18 de janeiro de 2019.

Este trabalho é dedicado a **DEUS**, inteligência suprema, causa
primária de todas as coisas.

Aos que permeiam com sua existência na evolução, os laços eternos de
fraternidade e amizade criados neste mundo entre nossos corações,
meu pai Antônio Fernandes (*in memoriam*) e minha mãe Idenez
Panegossi Fernandes.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”; à Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba; ao programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa de Mestrado.

Ao Prof. Assoc. Guilherme de Paula Nogueira, pela atenção e apoio durante o processo de orientação ao “bebê deixado na porta”, favorecendo, em nossas conversas, o fomento científico para minha formação e o alento na produção deste trabalho e dissertação.

Ao Prof. Dr. Mario Jefferson Quirino Louzada, que, nos anos de convivência, muito me ensinou, contribuindo para meu crescimento científico, intelectual e pessoal.

Ao Prof. Dr. Yuri Tani Utsunomiya pela amizade e colaboração a este trabalho com as análises estatísticas e em nossas conversas e a elucidação de pontos de vista antes não percebidos.

Ao Prof. Assoc. Marco Antônio Rodrigues Fernandes pela amizade conquistada e por acreditar na minha pessoa frente aos ideais de crescimento profissional e pessoal, favorecendo, substancialmente, o nosso trabalho de formação de gente.

Às colegas de laboratório Joyce de Jesus Farias (IC-Fapesp) e Bruna Raniel (nutricionista), sem o apoio de vocês seria impossível a elaboração deste trabalho.

A todos os funcionários do Departamento de Apoio Produção e Saúde Animal – DAPSA, em nome do Chefe de Depto. Prof. Dr. Hamilton Caetano e seu Vice Prof. Dr. Luiz Eduardo Correa Fonseca, pela prestimosidade em atenção à minha pessoa diante ao Laboratório de Biofísica, diante às adversidades encontradas pelo caminho.

Ao Prof. Dr. Miguel Carlos Madeira por criar em mim o ímpeto de seguir na carreira científica, direcionando meu pensamento, alicerçado no bom caráter, para crescer como profissional e como pessoa.

Aos Profs. Assocs. Jackson Cioni Bittencourt, Cláudio Aparecido Casatti, Newton Canteras e Joao Cléber Theodoro de Andrade pelos ensinamentos durante o meu estágio nas Ciências Básicas no Instituto de Ciências Biomédicas 3 da Universidade de São Paulo ICB3/USP, tanto na Anatomia Humana como na Histologia.

Prof. Dr. Erich Talamoni Fonoff pelo ensinamento durante o período em que estive no Grupo de Pesquisa da Dor no Hospital Sírio-Libanês SBSHSL/IEP e no Neuro-navegador estereotáxico do Instituto de Psiquiatria do Hospital das Clínicas IPqHC/FMUSP.

Aos técnicos Alexandre José Teixeira (Alê), Adão Ângelo Custódio (Dão), Carlos Renato (Carlão), Sr. Laércio pelo bom humor diário de vocês, pela atenção que sempre me trataram, e por estarem sempre dispostos a me auxiliar diante a este trabalho.

Ao Pedro Luís Florindo (Pedrão) pela amizade, pelos sorrisos, viagens, almoços, bate-papos e aos incentivos dados à minha pessoa nos momentos em que a dúvida sobre transpor obstáculos se fez aparente.

Aos Professores da Pós Graduação, pois educar é mais que uma arte, é a ciência moral de entregar ao mundo pessoas que fazem a diferença!

Aos funcionários da seção de Pós-Graduação da Faculdade de Veterinária de Araçatuba -UNESP, pela atenção, orientação e cordialidade.

Às meninas e rapazes da zeladoria que ao passar pelo laboratório de Biofísica deixaram sempre um pouco do seu bom humor, trazendo bons fluidos ao ambiente com nossas conversas descontraídas.

Aos funcionários da Biblioteca da Faculdade de Veterinária de Araçatuba – UNESP, pela colaboração e presteza em todos os momentos.

À Flávia Dias Neves (Fulá), minha namorada, pela dedicação, por todo o amor, carinho, paciência, por ser minha cuidadora em todos momentos e meu ombro-amigo sempre me ouvindo e sendo sensata. Obrigado por acreditar em mim e nos meus sonhos.

À minha cachorrinha Panqueca. *“A razão de eu amar tanto o meu cachorro é porque quando chego em casa ele é o único no mundo que me trata como seu fosse ‘Os Beatles’.” (Bill Maher)*

À Idenez, minha mãezinha, sempre prestimosa e alerta com tudo que me foi necessário até estes dias de minha vida, dias de luta para a nossa glória e, para que tudo isso pudesse acontecer. Obrigado por acreditar em mim e nos meus sonhos.

Quando Parti

Banda 365

*Quando parti tudo estava igual
Me despedi num aceno do mesmo modo casual
Eu não era mais eu quando parti*

*Quando parti de guitarra na mão
Não resisti e cantei na despedida uma canção
Eu não era menos eu quando parti*

*Quando parti copo cheio no bar
Malas no chão veio um anjo bêbado me consolar
Ninguém na estação quando parti*

*Quando parei e olhei tudo em volta
Compreendi que partir era chegar por outra porta
Eu tive que partir pra estar aqui*

Love Reign O'er Me Pete Townshend

*Only love
Can make it rain
The way the beach is kissed by the sea.
Only love
Can make it rain
Like the sweat of lovers'
Laying in the fields.*

*Love, Reign o'er me.
Love, Reign o'er me, rain on me, rain on me.*

*On the dry and dusty road
The nights we spend apart alone
I need to get back home to cool cool rain.
I can't sleep and I lay and I think
The nights are hot and black as ink
Oh God, I need a drink of cool cool rain.*

*Only love
Can bring the rain
That makes you yearn to the sky.
Only love
Can bring the rain
That falls like tears from on high.*

Love Reign O'er me.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

Al-Mg-Si: Alumínio, Magnésio e Silício

C: Celsius

CEUA: Comissão de Ética no Uso de Animais

cm²: Centímetro quadrado

CMO: Conteúdo Mineral Ósseo

DMO: Densidade Mineral Óssea

DMODR: Densidade Mineral Óssea advinda da Densidade Radiográfica

DO: Densidade Óssea

DPA: Absorção de Fótons de Duas Energias

dpi: dots per inch

DR: Densitometria Radiográfica

dReal: Densidade Real

DXA: Absorciometria de Raios-X de Duas Energias

EVA: Etil Vinil Acetato

FAPESP: Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo

FMVA: Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba

g/cm²: gramas por centímetro quadrado

h: altura

HSV: Hue, Saturation e Value

Hz: Hertz

kV: Quilovolts

I: Largura

mAs: Miliampére-segundo

Max: Máximo

Min: Mínimo

min: Minuto

mm: Milímetros

OMS: Organização Mundial da Saúde

p: Profundidade

px: Pixels

QCT: Tomografia Computadorizada Quantitativa

QMO: Quantidade Mineral Óssea

r: Raio

RDI: Regiões De Interesse

RGB: Vermelho-Verde-Azul

RPM: Rotações Por Minuto

Rx ou RX: Raios-X

SPA: Absorção de Fótons de Uma Energia

SXA: Absorção de Raios-X de Uma Energia

TIFF: Tagged Image File Format

Unesp: Universidade Estadual Paulista

V: Volts

v: volume

W: Watts

π : Pi (aproximadamente 3,141)

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

- Figura 1** - A arquitetura do tecido ósseo trabeculado e osso cortical. **16**
- Figura 2** - Microfotografia do osso trabecular normal e patológico. **17**
- Figura 3** - Esquema de um Densitômetro Ósseo utilizando a técnica de Absorção de Raios-X de Duas Energias (DXA) para mensurações de Densidade Mineral Óssea – DMO e Conteúdo Mineral Ósseo – CMO. **23**
- Figura 4** - Escada de alumínio com nove degraus, liga ABNT 6063. **24**

Capítulo 2

- Figura 1** - Correlação entre o Conteúdo Mineral Ósseo- CMO e a Quantidade Mineral Óssea – QMO **44**
- Figura 2** - Correlação entre as variáveis preditas DMO e a dReal. **45**
- Figura 3** - Correlação entre as variáveis preditas dReal e a XDMODR (média das dez imagens radiográficas). **45**
- Figura 4** - Correlação entre as variáveis XDMODR (média das dez imagens radiográficas) e DMO. **46**

Anexo- InkScape®

- Figura 1** - Diagrama de coleta e análise do Software InkScape®. **60**
- Figura 2** - Template do Software InkScape®. **61**
- Figura 3** - Regressão de valores observados contra valores preditos de densidade mineral óssea obtidos por meio da mensuração de densidade óptica radiográfica com o software Inkscape® em dez imagens radiográficas (R1 - R10). **62**
- Figura 4** - Regressão de valores observados contra valores preditos de densidade mineral óssea obtidos por meio da mensuração de densidade óptica radiográfica com o software ImageJ® em dez imagens radiográficas (R1 - R10). **62**
- Figura 5** - Diferenças de desempenho médio de predição de densidade mineral óssea por meio de densidade óptica radiográfica medida com dois softwares (Inkscape® e ImageJ®) entre imagens claras e escuras. **63**
- Figura 6** - CEUA, sob o processo FOA nº 00143-2018. **66**

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

Tabela 1 - Altura dos degraus de uma escada de alumínio (cm), DMO calculada pelo DXA (g/cm^2), dRad (tons de cinza) para cada degrau da escada de alumínio em 10 repetições de radiografias retiradas sucessivamente, e o coeficiente de variação entre as 10 radiografias para cada degrau. **42**

Tabela 2 - Equações de correlações entre a dRad e a DMO para cada imagem radiográfica e o respectivo coeficiente de determinação- R^2 utilizando como referencia a escada de alumínio. (y = DMO; X = dRad). **42**

Tabela 3 - Valores obtidos para as 30 amostras ósseas corticais ou trabeculares de Densidade Mineral Óssea (DMO), densidade real (dReal), Quantidade Mineral Óssea (QMO), Conteúdo Mineral Ósseo (CMO) e a média da Densidade Mineral Óssea dada pela Densitometria Radiográfica (XDMODR). **43**

Capítulo 3 Anexo - InkScape®

Tabela 1 - Desempenho de predição de densidade mineral óssea a partir de densidade óptica radiográfica medida por dois diferentes softwares e utilizando escadas de alumínio como padrão referencial. **64**

Fernandes RA. Correlação entre Densidade Radiográfica - DR e Absorciometria por Raios-X de Duas Energias - DXA: Estudo “*in vitro*”. [Dissertação] Araçatuba: Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade Estadual Paulista; 2019.

RESUMO

O objetivo desse estudo foi inferir a Densidade Mineral óssea (DMO) a partir da imagem radiográfica (Raios-X) usando como referência a DMO de uma escada de alumínio mensurada por Absorciometria por de Duas-Energias (DXA). Para isso foram utilizadas 30 amostras de tecido ósseo cortical e 30 amostras de tecido ósseo trabecular de osso bovino “*in vitro*”. Foram mensurados neste estudo a Densidade Mineral Óssea (DMO), o Conteúdo Mineral Ósseo (CMO) ambos obtidos pelo densitômetro LUNAR®-DPX ALPHA; a Quantidade Mineral Óssea (QMO) massa das cinzas após a calcinação das amostras; a densidade real das amostras ($d_{Real} = \text{massa}/\text{volume}$). Foram feitas 10 tomadas de RX com as 60 amostras, entremeadas pela escada de alumínio (referencial densitométrico). A correlação entre as técnicas (DR-tons de cinza e DXA g/cm^2) gerou equações de regressão para cada uma das dez radiografias e permitiu inferir a densidade mineral óssea (DMODR), obtida através da conversão dos tons de cinza em densidade radiográfica pelo software ImageJ® para cada uma das 10 tomadas radiográficas; calculou-se então a média da densidade mineral óssea calculada pela densitometria radiográfica (XDMODR) de todas as dez radiografias. Foi observado que a média da densidade real das amostras foi de $2,2 \pm 0,23 \text{g}/\text{cm}^2$ e $1,05 \pm 0,09 \text{g}/\text{cm}^2$ enquanto que a média da densidade mensurada pelo DXA foi de $0,73 \pm 0,11 \text{g}/\text{cm}^2$ e $0,22 \pm 0,11 \text{g}/\text{cm}^2$, observou que a media da DMODR ficou em $0,93 \pm 0,11 \text{g}/\text{cm}^2$ e $0,34 \pm 0,14 \text{g}/\text{cm}^2$ para o osso cortical e trabecular respectivamente. A média da CMO foi de $0,19 \pm 0,9 \text{g}$ e $0,08 \pm 0,02 \text{g}$ e a media da QMO $0,14 \pm 0,04 \text{g}$ e $0,05 \pm 0,03 \text{g}$ para o osso cortical e trabecular respectivamente. Foi possível obter bons coeficientes de determinação entre todas as variáveis estudadas: CMO e QMO, $R^2 = 0,747$; DMO e d_{Real} com $R^2 = 0,765$; d_{Real} e DMODR; DMO e XDMODR, respectivamente 0,764 e 0,856. Para as correlações foram usadas amostras de dois tecidos ósseos cortical e trabecular, o que sugere distinção entre as amostras com as metodologias utilizadas.

Palavras-chave Densidade Mineral Óssea. Escada de Alumínio. Densitometria Radiográfica. Absorciometria por Raios-X de Duas-energias (DXA). Osso Cortical e Trabecular “*in vitro*”

Fernandes RA. Correlation between Radiographic Density - RD and Dual-energy X-ray Absorptiometry - DXA "in vitro" study. [Dissertation]. Araçatuba: UNESP - São Paulo State University; 2019.

ABSTRACT

The aim of this study was to infer the bone mineral density (BMD) from the radiographic image (X-X) with reference to the BMD of an aluminum step wedge measured by absorptiometry Dual-energy (DXA). For this we used 30 samples of cortical bone 30 and cancellous bone tissue samples of bovine bone "in vitro". Were measured in this study Bone Mineral Density (BMD), bone mineral content (BMC) both obtained by densitometer LUNAR® DPX-ALPHA; Volume Bone Mineral (QMO) mass of ash after calcination of the samples; the real density of the samples ($d_{Real} = \text{mass} / \text{volume}$). 10 taken RX were made with the samples 60, interspersed by aluminum step wedge (densitometric reference). The correlation between the techniques (gray DR-tones and DXA g / cm²) generated regression equations for each of the ten X-rays and allowed to infer bone mineral density (DMODR) obtained by converting grayscale radiographic density by ImageJ® for each of the 10 radiographic taken. It was then calculated average bone mineral density calculated by X-ray densitometry (XDMODR) radiographs of all ten. Was observed that the average true density of the samples was $2.2 \pm 0.23 \text{ g/cm}^2$ and $1.05 \pm 0.09 \text{ g/cm}^2$ while the average density measured by DXA was $0.73 \pm 0.11 \text{ g/cm}^2$ and $0.22 \pm 0.11 \text{ g/cm}^2$ interesting that the average DMODR was $0.93 \pm 0.11 \text{ g/cm}^2$ and $0.34 \pm 0.14 \text{ g/cm}^2$ for cortical and cancellous bone respectively. The average of the BMC was $0.19 \pm 0.08 \text{ g}$ and $0.9 \pm 0.02 \text{ g}$, and the average QMO $0.14 \pm 0.04 \text{ g}$ and $0.05 \pm 0.03 \text{ g}$ for cortical and cancellous bone respectively. It was possible to obtain good determination coefficients between all variables: BMC and QMO, $R^2 = 0.747$; BMD and d_{Real} with $R^2 = 0.765$; d_{Real} and DMODR; BMD and XDMODR respectively 0.764 and 0.856. For correlations were used two samples of cortical and cancellous bone tissues, suggesting a difference between the samples with the methodologies used.

Keywords: Bone Mineral Density. Aluminium step-wedge, DXA. Radiographic Density. Cortical and cancellous bone "in vitro".

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1- Revisão da Literatura	15
1. Tecido Ósseo	15
2. Osteoporose	16
3. Densidade Óssea	18
4. Densidade Real	19
5. Radiografia	20
6. Densitometria Radiográfica – DR	20
7. Absorciometria por Raios-X de Dupla-energia (DXA)	22
8. Escada de Alumínio	24
9. Objetivo geral	25
10. Objetivos específicos	25
11. Referências	26
 CAPÍTULO 2 - CORRELAÇÃO ENTRE DENSIDADE RADIOGRÁFICA - DR E ABSORCIOMETRIA POR RAIOS-X DE DUAS ENERGIAS - DXA: ESTUDO “ <i>IN VITRO</i> ”	 36
Resumo	36
Abstract	36
1. INTRODUÇÃO	37
2. MATERIAL E MÉTODOS	39
2.1. Escada de alumínio	39
2.2. Amostras de tecido ósseo	39
2.3. Radiografias	39
2.4. Densitometria Radiográfica - DR	40
2.5. Absorciometria por Raios-X de Duas energias - DXA	40
2.6. Densidade real (dReal)	40
2.7. Calcinação	41
2.8. Estatística	41
3. RESULTADOS	41
3.1. Avaliação da escada	41
3.2. Estudo das amostras ósseas	42
4. DISCUSSÃO	46
4.1. Escada de alumínio	46
4.2. Densidade Mineral Óssea	47
4.3. Correlação entre QMO e CMO	48
4.4. Correlação entre dReal e DMO	49
4.5. Correlação entre XDMODR e dReal	49
4.6. Correlação entre DMO e XDMODR	50
5. CONCLUSÕES	50
6. REFERÊNCIAS	51
 CAPÍTULO 3 - ANEXO - InkScape®	 59
1. Considerações gerais	59
2. Predição de densidade mineral óssea	61
3. Resultados	63
4. Conclusão	65
5. Referencia	65

CAPÍTULO 1 - REVISÃO DA LITERATURA

1. Tecido Ósseo

Como tecido exclusivo para vertebrados, os ossos preenchem um número de funções fisiológicas essenciais. Atua como base de apoio para órgãos e músculos, permitindo a locomoção. Osso é um importante reservatório para vários minerais, incluindo cálcio, fosfato e magnésio (MURSHED, 2018; MERA; FERRON; MOSIALOU, 2018; WHYTE, 2017). Células ósseas estão envolvidas na manutenção do nicho de células-tronco hematopoiéticas e, portanto, na produção de linfócitos, eritrócitos e plaquetas de hidroxapatita (FRENETTE, 2017; GALÁN-DÍEZ et al., 2017; ROODMAN, 2017), proteína não colágena e água (GUPTA et al., 2016). E a partir da última década está claro que o esqueleto não é apenas um receptor de estímulo hormonal (KARSENTY, 2011), mas também é um órgão endócrino (MURSHED, 2018).

A arquitetura do tecido ósseo varia com a região do esqueleto, podendo ser esponjosa, denominada osso trabecular, ou compacta, denominada osso cortical (Figura 1). A microestrutura trabecular é composta de trabéculas cujo formato varia entre bastonetes e placas, possui microestrutura porosa com elevada área superficial (HILDEBRAND et al., 1999), sendo predominantemente encontrado nas extremidades dos ossos longos, os quais estão protegidos por uma camada de osso cortical (TESTUT, 1904). É também encontrado na estrutura interna dos ossos do crânio, pelve, vértebras e no osso calcâneo, sendo que aproximadamente 20% da composição do esqueleto são desta modalidade.

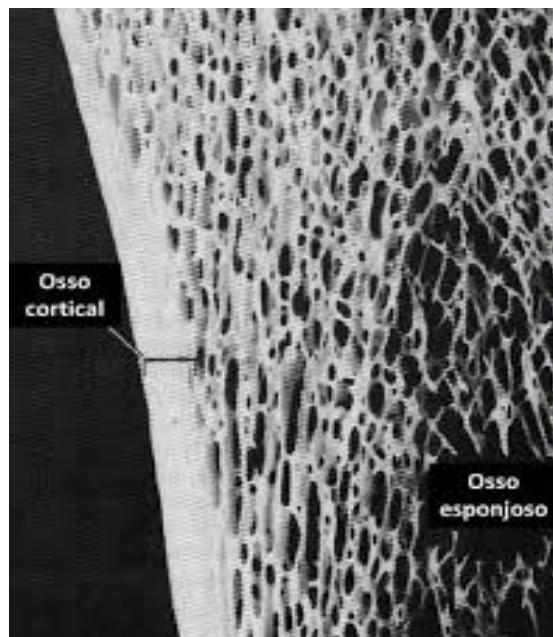
O osso cortical compõe aproximadamente 80% do esqueleto, é compacto e forma a camada externa dos ossos. As fibras colágenas são distribuídas em forma de lamelas que ficam paralelas umas às outras, localizadas próximos aos canais dos vasos sanguíneos chamados de canais de Havers (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2012).

A densidade do osso trabecular foi relacionada à sua resistência e rigidez (CURREY, 1969). Apesar das medidas de densidade frequentemente levarem a estimativas razoáveis das propriedades mecânicas, elas explicam certas variações observadas nestas propriedades, são influenciadas pela microestrutura do osso

trabecular, representando assim uma medida escalar incompleta para a previsão das propriedades mecânicas (CIARELLI et al., 1991).

O termo qualidade óssea é complexo, compreendendo vários parâmetros microscópicos, morfológicos, moleculares (LINDH; OBRANT; PETERSSON, 2004) e biomecânicos como a forma (ALSAADI et al., 2008), nível de mineralização (FRIBERG et al., 1995; GULSAHI et al., 2007) e microarquitetura trabecular ou cortical (CHOEL et al., 2003), sem uma definição consensual na literatura e na prática clínica. Porém, esse termo é utilizado em diferentes classificações clínicas subjetivas (MISCH, 2004;) para o planejamento e prognóstico do tratamento de certas enfermidades ósseas. A análise da qualidade óssea, sob o ponto de vista molecular tem potencial para contribuir para um melhor entendimento da característica óssea.

Figura 1- A arquitetura do tecido ósseo trabeculado e osso cortical.



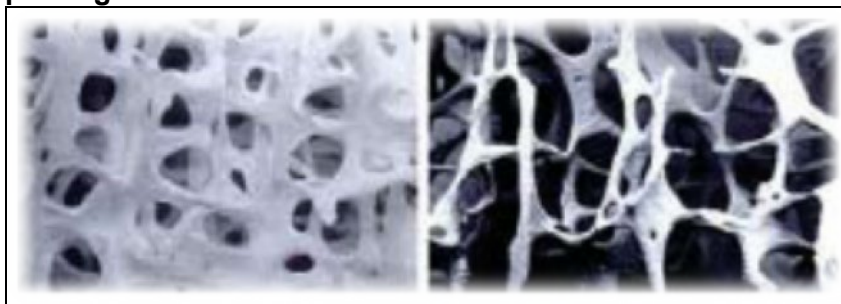
Fonte: Junqueira, L.C. & Carneiro, J. Histologia Básica. 10 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.

2. Osteoporose

A osteoporose que consiste na diminuição da densidade mineral óssea é um dos fenômenos da dimensão corporal mais estudados está associado ao aumento da idade cronológica e a alterações na composição corporal (BEMBEN, et

al, 1994). É uma doença óssea metabólica multifatorial caracterizada pela baixa densidade mineral óssea (DMO), com deterioração da microarquitetura de osso trabecular (Figura 2), e as mudanças nas propriedades físicas do osso, conduzindo à uma maior fragilidade óssea com um conseqüente aumento do risco de fratura, principalmente nas regiões de ossos como colo do fêmur, segmento distal do rádio e marcadamente no corpo vertebral dos ossos da coluna (WATANABE, 2009).

Figura 2 - Microfotografia do osso trabecular normal e patológico.



Fonte: WATANABE, P. Osteoporose e a radiografia panorâmica: o que o cirurgião dentista pode analisar. Revista da ABRO - Associação Brasileira de Radiologia Odontológica, v. 11, n. 3, p. 5–21, 2009.

A osteoporose é o processo de perda quantitativa da densidade óssea por unidade de volume, com a manutenção das propriedades qualitativas e diminuição de osso normalmente mineralizado, esta alteração é responsável pelo desequilíbrio da mecânica do esqueleto. (RETT et al., 2008; KHAJURIA et al., 2015). As alterações estruturais mais conhecidas são a redução de osso trabecular, em tamanho e número nas mulheres (HARVEY et al., 2015), e o adelgaçamento da região cortical, com maior comprometimento da estrutura nos homens (ROSSI, 2008), é debilitante e causa no mundo quase nove milhões de fraturas ósseas a cada ano (JOHNELL; KANIS, 2006). Consequentemente, é atendida por um considerável ônus socioeconômico (RACHNER; KHOSLA; HOFBAUER, 2011).

A osteoporose foi definida pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 1994 como uma densidade mineral óssea inferior a 2,5 desvios padrão abaixo da média adulta específica (para cada região óssea) de cada jovem e essa caracterização foi adotada globalmente. Posteriormente, um passo adiante foi dado quando a densidade mineral óssea foi incorporada nos algoritmos de previsão de risco de fratura (PECK, 1994).

Em todo o mundo, a osteoporose é considerada um grave problema de saúde pública (JOVINE et al., 2006; FREIRE; ARAGÃO, 2004), sendo rotulada com um alto índice de morbidez e mortalidade entre os idosos de ambos os sexos, acometendo cerca de um terço de mulheres (AUAD et al., 2008).

Das enfermidades ósseas mais estudadas, a osteoporose pode ser descrita como uma doença sistêmica progressiva caracterizada pela diminuição da massa óssea e deterioração da microarquitetura, causando fragilidade do osso e o aumento no risco de fraturas (GALI, 2001).

A osteoporose secundária está relacionada a diversas patologias do sistema de absorção de cálcio (GHANIZADEH et. al., 2014) e agregada também a processos inflamatórios, tais como a artrite reumatóide, mieloma múltiplo, doenças inflamatórias intestinais, doenças renais, alterações endócrinas, como o hipotireoidismo, por desuso (falta de estímulo mecânico), além da ingestão de fármacos como heparina, corticóides e álcool (GALI, 2001).

Segundo Haller et al. (1990), a osteoporose não se torna visível ao RX até que cerca de 30-50% da massa óssea seja perdida. O osso cortical é mais importante do que o medular, pois a diminuição de sua densidade interfere na percepção na imagem radiográfica.

As populações de referência são baseadas em estudos de pacientes saudáveis sem doença metabólica óssea ou fraturas sintomáticas ou assintomáticas, que não estão fazendo uso de medicações as quais, conhecidamente, causam impacto na fisiologia óssea. Os ajustes são feitos para: idade, origem étnica, nacionalidade e peso (Consensus Development Conference, 1991).

3. Densidade Óssea – DO

Densidade óssea é definida como a massa de tecido ósseo presente numa unidade volumétrica de osso (g/cm^3) (NORDIN; FRANKEL, 2003).

Densidade é uma grandeza física empregada para relacionar massa com o volume ocupado por esta massa. De certa forma expressa a quantidade de matéria, de partículas, que estão ocupando determinado volume (CAMPBELL; CAMPBELL, 1986; TIPLER, 1984).

Densidade é a relação entre a massa e o volume de um corpo e o método de avaliação da densidade mineral óssea (DMO) é denominado densitometria óssea (DA CRUZ REIS et al., 2011; CAMPOS et al., 2014; WILLER; VITRAL, 2014). As unidades de medida mais empregadas são g/cm^2 (massa por área), g/cm^3 (massa por volume) (BOUXSEIN et al., 1997).

A avaliação da densidade mineral óssea (DMO) representa um exame auxiliar confiável e amplamente utilizado durante a avaliação da qualidade óssea (EBBESSEN et al., 1998; CUMMINGS, S.R.; BATES, D.; BLACK, 2002).

Para a avaliação da densidade mineral óssea inúmeras metodologias foram desenvolvidas: Densitometria Radiográfica; Absorção de Fótons de Uma Energia ("SPA"); Absorção de Fótons de Duas Energias ("DPA"); Absorção de Raios-X de Uma Energia ("SXA"); Absorção de Raios-X de Duas Energias ("DXA"); Tomografia Computadorizada Quantitativa ("QCT"), Atenuação de Ondas Ultra-sônicas (GENANT et al., 1989; MEIRELLES, 1999; SANTIAGO; VITRAL, 2006), todas técnicas não invasivas sendo a DXA a eleita como o "padrão ouro" e usada mundialmente.

Apesar de todos os avanços nestas técnicas, seus custos ainda são elevados incompatíveis com a realidade da maioria dos países, dentre eles o Brasil onde a maioria da população é assistida por programas de saúde, sendo restrito o número de exames. Sendo que dos parâmetros utilizados para analisar o estado do tecido ósseo, a densidade mineral óssea é uma das mais importantes (LOUZADA et al., 1998).

4. Densidade Real – dReal

A densidade é relação da massa pelo volume obtido na mensuração do corpo, desta maneira, a relação obtida depende da forma geométrica do corpo a ser estudado, onde relações algébricas específicas permitem esta mensuração do volume (AXT; GUIMARÃES, 1981).

Para determinar a densidade óssea e posteriormente diagnosticar uma patologia óssea, existem várias técnicas, das quais uma delas é a técnica da imersão.

O método de imersão em água é um método mais simples e consiste na aplicação do princípio de Arquimedes, o qual diz que a força empuxo tem a mesma direção e módulo que a força peso associado à quantidade de líquido deslocada pelo objeto, porém de sentido oposto ao dela (BARBOSA; BREITSCHAFT, 2006).

5. Radiografia

O diagnóstico por imagem propicia ao clínico, informações sobre variadas enfermidades, daí a importância da radiografia na clínica médica. Contudo, quase sempre o diagnóstico limita-se à compreensão dos sinais clínicos para assim inferir a área ou áreas acometidas num processo de doença (LOWRIE, 2012).

A imagem digital tornou-se uma realidade no diagnóstico de diversas patologias de origem sistêmica ou local (RENZ et al., 2016). De forma dinâmica, o advento da radiografia digital, tornou-se possível visualizar imagens radiográficas por meio de programas de tratamento de imagens, pois utilizando-se um computador é possível alterá-las, melhorando e compensando as possíveis deficiências da acuidade visual humana na distinção de densidade e contraste de tons de cinza (GUERRA; VULCANO; ROCHA, 2006; KHADEMI, 1996). Com relação à avaliação da densidade por meio de radiografias digitais, este método também se constitui um importante recurso para determinar o grau de densidade de materiais (SALZEDAS; LOUZADA; OLIVEIRA FILHO, 2006; OLIVEIRA; GOUVEIA; LOUZADA, 2016; WEATHERHOLT et al., 2016).

6. Densitometria Radiográfica – DR

A Densitometria Radiográfica (DR) é definida pela quantidade de Raios-X que chegam pela quantidade de Raios-X que passam por um determinado material.

É técnica não invasiva, que pode ser utilizada na avaliação da densidade óssea, apresentando como vantagens o baixo custo, rapidez e simplicidade de execução (LOUZADA, 1994).

Devido ao contínuo uso desse método em pesquisas e às vantagens em relação a outros disponíveis, torna-se de suma importância o conhecimento da

técnica, para que sua utilização possa proporcionar benefícios às pesquisas científicas em Odontologia, Ortopedia e Radiologia (LOTTI et al., 2006).

A DR é técnica com custo significativamente menor que as demais metodologias que medem o grau de enegrecimento de um filme radiográfico, fotográfico e é utilizada para análise sequencial de variações de massa óssea, com boa precisão e acurácia (BERTI et al., 2005; CARVALHO FILHO, 1997; COSMAN et al., 1991; GALLO et al., 1996; INAGAKI et al., 2001; LOUZADA et al., 1998; MATSUMOTO et al., 1994; MAZZONETTO et al., 1995; VULCANO et al., 1997; YANG et al., 1994; YATES et al., 1995).

A densitometria radiográfica pode ser definida como a medição da intensidade de escurecimento de uma película radiográfica após o seu processamento através de uma comparação com uma escada de alumínio. A densitometria radiográfica pode ser medida de diversas maneiras entre as quais através de um aparelho específico denominado fotodensitômetro ou utilizando-se programas computacionais específicos, não existindo, ainda, uma unidade de medida para a mesma (FENYO-PEREIRA et al., 1999; WHAITES, 2003).

Segundo Cosman et al. (1991), a DR, teve seu uso limitado no passado devido à baixa exatidão e precisão. Entretanto, em avanços recentes, relativos à interação com sistemas e processos computacionais, têm promovido uma significativa melhora na técnica. Os autores realizaram trabalho de determinação de massa óssea com esta técnica, comentando que a sensibilidade do método foi suficientemente obtida subsídios bem caracterizados permitindo que ela seja usada como ferramenta para a determinação de massa óssea baixa, clinicamente relevantes à fraturas por osteoporose, estas análises foram realizadas em radiografias de mão, nas falanges.

Matsumoto et al. (1994), utilizando a DR associada à medidas de espessura cortical do ponto médio de segundo metacarpo, concluíram ter esta metodologia boa precisão, além de ser amplamente disponível pelo baixo custo, parecendo ser potencialmente aplicável para problemas de diagnóstico e acompanhamento da osteoporose.

Inagaki et al. (2001) utilizando a DR de 2º metacarpo concluíram que baixa DMO do metacarpo está associada com doenças periodontais e perdas de dentes depois da menopausa.

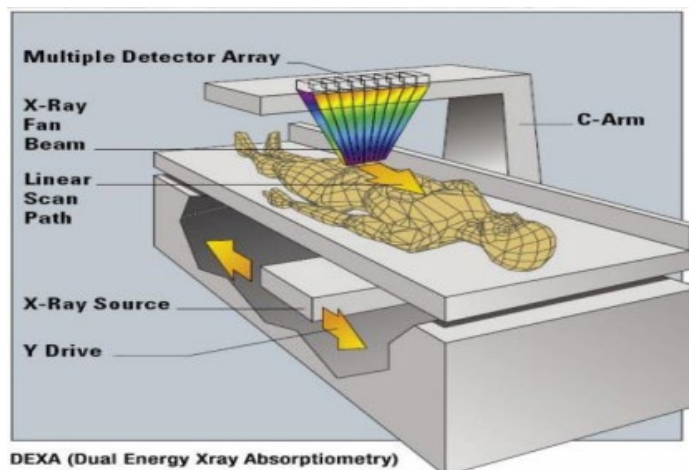
A utilização da técnica de DR tornou-se simples principalmente com a evolução e fácil acesso a equipamentos de informática. Assim, o que antes necessitava de um densitômetro óptico, hoje é realizado com scanner para digitalizar as imagens radiográficas, ou à partir da própria imagem radiográfica digital e um programa computacional para a para determinação da densidade radiográfica. Estes instrumentos possibilitam a digitalização da radiografia com alta resolução com um custo menor do que com o uso da Absorciometria por Raios-X de Dupla-energia (DXA), gerando gastos menores referentes aos valores financeiros.

7. Absorciometria por Raios-X de Duas-energias (DXA)

A densitometria óssea realizada através da Absorciometria por Raios-X de Dupla-energia (DXA) é considerada pela OMS, desde 1994, como “padrão-ouro” para o diagnóstico de osteoporose (KANIS et al, 1994). Desta forma, demais pesquisadores, dentro dos mesmos parâmetros, vêm considerando tal situação (NACKAERTS et al., 2006; LEIB et al., 2014; SIMONELLI et al., 2014; ALOMARI; WILLE; LANGTON, 2018), e desde então, o número de estudos relacionando as técnicas densitométricas têm aumentado consideravelmente.

A técnica DXA é frequentemente a mais utilizada para avaliação dos pacientes com suspeita de estar sofrendo de osteoporose (Figura 3). Geralmente é realizado nas extremidades dos ossos longos (exemplo: osso rádio), nas vértebras e no colo do fêmur, pois a perda óssea ocorre mais rapidamente nestes locais, devido ao osso ser do tipo trabecular, que aumenta o risco de fraturas (BOUXSEIN et al., 1997).

Figura 3 - Esquema de um Densitômetro Ósseo utilizando a técnica de Absorção de Raios-X de Duas Energias (DXA) para mensurações de Densidade Mineral Óssea – DMO e Conteúdo Mineral Ósseo – CMO.



Fonte: cdn5.scifighting.com/wp-content/uploads/2013/04/density-test.jpg

Descrita pela quantidade de minerais por centímetro quadrado de osso, o termo Densidade Mineral Óssea (DMO) é uma definição usada na prática clínica e a sua medição é feita, geralmente, através da técnica de DXA. (National Library of Medicine).

A densitometria óssea mensura a atenuação do tecido para a quantidade de absorbância por Raios-X de Dupla-energia (DXA) e, a partir dessas medidas, encontra-se o Conteúdo Mineral Ósseo (CMO) mensurado em gramas e a Densidade Mineral Óssea dada em gramas por unidade de área (g/cm^2) por ser um parâmetro bidimensional verificado na imagem radiográfica (WEBBER, 1990). Visto que é verificado pela área planar da imagem radiográfica.

No Brasil, não existe valor de referência clínica padronizado para mulheres em relação ao exame DXA, podendo causar um viés em pesquisas e diagnósticos, principalmente devido a miscigenação racial (PEDROSA, 2009). Exemplo disso é a origem étnica, pois valores da população negra são 6% maiores que a caucasiana; ou em pacientes de mesma etnia, mas com diferentes nacionalidades, como por exemplo, as mulheres francesas que possuem valores mais baixos que as americanas (VOSER, 2006).

8. Escada de Alumínio

Pesquisas tecnicamente padronizadas e adaptadas a uma escada de alumínio (Figura 4), indicam que este material confere curva de densidade característica ao tecido ósseo, permitindo avaliar a DO (TROUERBACH, 1984; NACKAERTS et al., 2006).

O alumínio tem sido usado para confecção da escada, por este material possuir uma curva de absorção de radiação X muito semelhante à dos ossos (OWEN, 1956; LOUZADA et al., 1998; MACK et al., 1959). A imagem obtida da escada padrão de alumínio reflete a exposição a qual o filme radiográfico foi submetido, as condições de processamento e a curva de densidade fornecem dados necessários para corrigir a análise do osso por meio de integração, através de uma forma de determinação comparativa da absorção dos Raios-X (MACK et al., 1959).

Figura 4 - Escada de alumínio com nove degraus, liga ABNT 6063.



Fonte: Arquivo pessoal.

Em seu estudo Owen (1956) comparou a quantidade de radiação transmitida pelo osso de coelhos e a radiação transmitida pelo alumínio e observou a existência de uma correlação linear entre a espessura do osso e o alumínio concluindo que a absorção de raios X por várias estruturas ósseas e folhas de alumínio com determinada espessura é semelhante.

A metodologia de DR com auxílio da escala de alumínio como referencial foi tema de vários trabalhos com resultados confiáveis, estimulando assim seu emprego na medicina veterinária (VEIGA et al., 2016)

Louzada et al. (1997) mensuraram a densidade de peças ósseas de frangos submetidas a uma descalcificação controlada utilizando a DR, que mostrou ser uma técnica de fácil reprodução e aplicação, de boa sensibilidade, precisão e custos diminuídos.

Vulcano et al. (1997) através da técnica de DR determinou os valores normais da densidade mineral óssea do carpo ulnar de potros Quarto de Milha, utilizando a uma escala de alumínio de 25 degraus com 0,5 milímetros de altura cada, como referencial densitométrico, e através dos resultados obtidos concluiu que é uma técnica de baixo custo, fácil aplicação, boa sensibilidade, precisa e ideal para a aplicação na rotina da clínica veterinária.

Hipotetiza-se neste estudo que a técnica de DR é eficiente na avaliação da Densidade Óssea (DO) em peças ósseas corticais e trabeculadas “*in vitro*”, e a escada de alumínio serve de referencial densitométrico entre as técnicas DXA e DR.

9. Objetivo geral

Determinar a correlação entre Densidade Radiográfica - DR e Absorciometria por Raios-X de duas Energias – DXA, tanto em uma escada de alumínio como em amostras de tecido ósseo trabecular e cortical “*in vitro*”.

10. Objetivos específicos

Correlacionar as técnicas preditoras entre as variáveis mensuradas neste estudo:

- QMO e CMO
- dReal e DMO
- dReal e DMODR(média)
- DMO e DMODR (média)

Referências

ALOMARI, A. H.; WILLE, M. L.; LANGTON, C. M. Bone volume fraction and structural parameters for estimation of mechanical stiffness and failure load of human cancellous bone samples; in-vitro comparison of ultrasound transit time spectroscopy and X-ray μ CT. **Bone**, v. 107, p. 145–153, 2018.

ALSAADI, G.; QUIRYNEN, M.; KOMÁREK, A.; VAN STEENBERGHE, D. Impact of local and systemic factors on the incidence of late oral implant loss. **Clinical Oral Implants Research**, v. 19, n. 7, p. 670–676, 2008.

AUAD, M. A. et al. Eficácia de um programa de exercícios físicos na qualidade de vida de mulheres com osteoporose. **Arquivos Brasileiros de Ciências da Saúde**, v.33, n. 1, p. 31-5, 2008.

AXT, R.; GUIMARÃES, V. H. **Física Experimental I e II: manual de laboratório**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1981.

BARBOSA, V. A.; BREITSCHAFT, A. M. S. Um aparato experimental para o estudo do princípio de Arquimedes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 115-122, 2006.

BEMBEN, M.G.; MASSEY, B.M.; BEMBEN, D.A.; BOILEAU, R.A.; MISNER, J. E. Age-related patterns in body composition for men aged 20-79 yr. **Med Sci in Sport's and Exercise**, v. 1, n. 27, p. 264–269, 1994.

BERTI, S.A.; SOUZA, P.H.C.; WESTPHALEN, F.H.; WESTPHALEN, V.P.D.; MARTINS, W.D.; IGNACIO, S.A. Estudo radiográfico da densidade óssea mandibular em pixels e milímetros equivalentes. **Revista Odonto Ciência**, v. 20, n. 49, p. 251-256, 2005.

BOUXSEIN, M. L.; MICHAELI, D. A.; PLASS, D. B.; SCHICK, D. A.; MELTON, M. E. Precision and accuracy of computed digital absorptiometry for assessment of bone

density of the hand. **Osteoporosis International**, v. 7, n. 5, p. 444–449, 1997.

CAMPBELL, J. M.; CAMPBELL, J. B. **Matemática de laboratório**: aplicações médicas e biológicas. 3 ed. São Paulo: Roca, 1986.

CAMPOS, M. J. da S.; DE SOUZA, T. S.; MOTA JÚNIOR, S. L.; FRAGA, M. R.; VITRAL, R. W. F. Bone mineral density in cone beam computed tomography: Only a few shades of gray. **World journal of radiology**, v. 6, n. 8, p. 607–12, 2014.

CARVALHO FILHO, G. **Estudo radiográfico do núcleo secundário de ossificação do calcâneo em população normal e acometida de apofisite do calcâneo**. 1997. 90 f. Tese (Doutorado)- Faculdade de Medicina, Universidade São Paulo, 1997.

CÉSAR, R.; VITRAL, F.; WILLER, R. Métodos de avaliação da densidade mineral óssea e seu emprego na odontologia. **Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada**, v. 6(3), p. 289–294, 2006.

CHOEL, L.; DUBOEUF, F.; BOURGEOIS, D.; BRIGUET, A.; LISSAC, M. Trabecular alveolar bone in the human mandible: a dual-energy x-ray absorptiometry study. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v.95, p. 364-70, 2003.

CIARELLI, M. J.; GOLDSTEIN, S. A.; KUHN, J. L.; CODY, D. D.; BROWN, M. B. Evaluation of orthogonal mechanical properties and density of human trabecular bone from the major metaphyseal regions with materials testing and computed tomography. **Journal of Orthopaedic Research**, v. 9, n. 5, p. 674–682, 1991.

CONCENSUS Development Conference: prophylaxis and treatment of osteoporosis. **American Journal of Medicine**, v. 90, n. 1, p. 107-110.

COSMAN, F.; HERRINGTON, B.; HIMMELSTEIN, S.; LINDSAY, R. Radiographic absorptiometry: a simple method for determination of bone mass. **Osteoporosis International**, v. 2, p. 34-38, 1991.

CUMMINGS, S.R.; BATES, D.; BLACK, D. M. Clinical use of bone densitometry: scientific review. **Journal of American Medical Association**, v. 288, n. 15, p. 1889–1898, 2002.

CURREY, J. D. The mechanical consequences of variation in the mineral content of bone. **Journal of Biomechanics**, v. 2, n. 1, p. 1–11, 1969.

DA CRUZ REIS, D. T.; DE ALMEIDA TORRES, R.; DE ALMEIDA BARBOSA, A.; DE SOUZA RODRIGUES, C.; DE MORAES, G. H. K. Efeito de linhagem e sexo nas características geométricas e biomecânicas de tíbias de frangos de corte. **Acta Scientiarum - Animal Sciences**, v. 33, n. 1, p. 101–108, 2011.

EBBESEN, E. N.; THOMSEN, J. S.; BECK-NIELSEN, H.; NEPPER-RASMUSSEN, H. J.; MOSEKILDE, L. Vertebral bone density evaluated by dual-energy X-ray absorptiometry and quantitative computed tomography in vitro. **Bone**, v. 23, n. 3, p. 283–290, 1998.

FENYO-PEREIRA, M.; COSTA, C.; PANELIA, J. Avaliação fotodensitométrica dos filmes radiográficos periapicais Ektaspeed e Ektaspeed Plus e sua aplicação diagnóstica. **Revista do Instituto de Ciências da Saúde**, v. 17, n. 2, p. 103-109, 1999.

FREIRE, F. M; ARAGÃO, K. G. C. B. **Osteoporose: um artigo de atualização**. 2004. 46 f. Dissertação (Graduação) – Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2004.

FRENETTE, P. Neural regulation of bone marrow. **Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine**, v. 8, n. 9, p. a031344, 2017.

FRIBERG, B.; SENNERBY, L.; ROOS, J.; JOHANSSON, P.; STRID, C.G.; LEKHOLM, U. Evaluation of bone density using cutting resistance measurements and microradiography: an in vitro study in pig ribs. **Clinical Oral Implants Research**, v. 6, p. 164–171, 1995.

GALÁN-DÍEZ, M.; CUESTA-DOMÍNGUEZ, A.; KOUSTENI S. The bone marrow microenvironment in health and myeloid malignancy. **Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine**, v. 8, n. 7, p. a031328, 2017.

GALI, J. C. Osteoporose. **Acta Ortopedica Brasileira**, v. 9, n. 2, p. 3–12, 2001.

GALLO, R.N.; RAHAL, S.C.; VULCANO, L.C.; LOUZADA, M.J.Q. Avaliação da densidade óssea em gatos em crescimento submetidos a dois tipos de ração. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE CIÊNCIAS VETERINÁRIAS, 15., 1996, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande, MS, 1996.

GENANT, H.K.; BLOCK, J.E.; STEIGER, P.; GLUEER, C.C.; ETTINGER, B.; HARRIS, S.T. Appropriate use of bone densitometry. **Radiology**, v. 170, p. 817-822, 1989.

GHANIZADEH, G.; BABAEI, M.; NAGHII, M.R.; MOFID, M.; TORKAMAN, G.; HEDAYATI, M. The effect of supplementation of calcium, vitamin D, boron, and increased fluoride intake on bone mechanical properties and metabolic hormones in rat. **Toxicology and Industrial Health**, v. 30, n. 3, p. 211-217, 2014.

GUERRA, P. C.; VULCANO, L. C.; ROCHA, N. S. Avaliação radiográfica, densitométrica e histológica do uso de perfurações ósseas para o estímulo de consolidação de fraturas do terço distal do rádio de cães. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 43, n. 2, p. 186–195, 2006.

GULSAHI, A.; PAKSOY, C. S.; YAZICIOGLU, N.; ARPAK, N.; KUCUK, N. O.; TERZIOGLU, H. Assessment of bone density differences between conventional and bone-condensing techniques using dual energy x-ray absorptiometry and radiography. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology**, v. 104, n. 5, p. 692–698, 2007.

GUPTA, Y.; MARWAHA, R. K.; KUKREJA, S.; BHADRA, K.; NARANG, A.; MANI, K.; MITHAL, A.; TANDON, N. Relationship between BMD and prevalent vertebral fractures in indian women older than 50 yr. **Journal of Clinical Densitometry**, v. 19,

n. 2, p. 141–145, 2016.

HALLER, J.; ANDRE, M. P.; RESNICK, D.; MILLER, C.; HOWARD, B. A.; MITCHELL, M. J.; SCHILS, J. P.; SARTORIS, D. J.; TRUDELL, D. Detection of thoracolumbar vertebral body destruction with lateral spine radiography: Investigation in cadavers. **Investigative Radiology**, v. 125, p. 517-522, 1990.

HARVEY, N. C.; GLÜER, C. C.; BINKLEY, N.; MCCLOSKEY, E. V.; BRANDI, M. L.; COOPER, C.; KENDLER, D.; LAMY, O.; LASLOP, A.; CAMARGOS, B. M.; REGINSTER, J. Y.; RIZZOLI, R.; KANIS, J. A. Trabecular bone score (TBS) as a new complementary approach for osteoporosis evaluation in clinical practice. **Bone**, 2015.

INAGAKI, K.; KUROSU, Y.; SAKANO, M.; YAMAMOTO, G.; KIKUCHI, T.; NOGUCHI, T.; YANO, H.; IZAWA, H.; HACHIYA, Y. Oral osteoporosis: a review and its dental implications. **Clinical Calcium**, v. 17, n. 2, p. 157-163, 2007.

JOHNELL, O.; KANIS J.A. An estimate of the worldwide prevalence and disability associated with osteoporotic fractures. **Osteoporos Int**;v. 17: 1726–33, 2006.

JOVINE, M. S.; BUCHALLA, C. M.; SANTARÉM, E. M. M.; SANTARÉM, J. M.; ALDRIGHI, J. M. Efeito do treinamento resistido sobre a osteoporose após a menopausa: estudo de atualização. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 9, n. 4, p.493-505, 2006.

KANIS, J. A.; MELTON, L. J. 3RD; CHRISTIANSEN, C.; JOHNSTON, C.C.; KHALTAEV, N. The Diagnosis of Osteoporosis. **Journal of Bone and Mineral Research**, v. 9, n. 8, p. 1137–1141, 1994.

KARSENTY, G. Regulation of male fertility by bone. **Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology**, v. 76, p. 279–283, 2011.

KHADEMI, J. A. Digital images & sound. **Journal of Dental Education**, v. 60, n., 1, p. 41-46, 1996.

KHAJURIA, D. K.; DISHA, C.; RAZDAN, R.; ROY MAHAPATRA, D. Efeito combinado do ácido zoledrônico e do alfacalcidol no tratamento da osteoporose por desuso em ratos. **Revista Brasileira de Reumatologia**, v. 55, n. 3, p. 240–250, 2015.

LOTTI, R. S.; MACHADO, A. W.; MAZZIEIRO, Ê. T.; JÚNIOR, J. L. Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos. **Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial**, v. 11, n. 2, p. 35–43, 2006.

LOUZADA, M. J. Q.; PELÁ, C. A.; BELANGERO, W. D.; SANTOS-PINTO, R. Densidade de peças ósseas de frangos. Estudo pela densitometria óptica radiográfica. **Veterinária e Zootecnia**, v. 9, p. 95-109, 1997.

LOUZADA, M. J. Q.; PELÁ, C. A.; BELANGERO, W. D.; SANTOS-PINTO, R. Metodologia para avaliação de densidade em imagem radiográfica. **Revista Brasileira de Engenharia/Caderno de Engenharia Biomecânica**, v. 14, n. 2, p. 37–47, 1998.

LOWRIE, M. Vestibular disease: anatomy, physiology, and clinical signs. **Compend. Contin. Vet. Educ.** v. 34 N.7, p. 1-5, 2012

MACK, P. B.; VOSE, G. P.; NELSON, J. D. New development in equipment for the roentgenographic measurement of bone density. **American Journal of Roentnology**, v. 82, n. 2, p. 303-310, 1959.

MARINO, S.; ROODMAN, G.D. Multiple myeloma and bone. **Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine**, v. 8, n. 8, p. a031286, 2018.

MATSUMOTO, C.; KUSHIDA, K.; YAMAZAKI, K.; IMOSE, K.; INOUE, T. Metacarpal bone mass in normal and osteoporotic japanese women using computed X-ray densitometry. **Calcified Tissue International**, v. 55, p. 324-329, 1994.

MAZZONETTO, R.; SEGURA, M.O.; LOUZADA, M.J.Q.; BEDRAN-CASTRO, J.C. Efeito do glutamato monossódico no processo de reparo alveolar e densidade óssea

em ratos. In: REUNIÃO CIENTÍFICA DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISAS ODONTOLÓGICAS, 12., 1995, Águas de São Pedro. **Anais...** Águas de São Pedro, SP, 1995.

MEIRELLES, E.S. Diagnóstico por imagem na osteoporose. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, v. 43, n. 6, p. 423-427, 1999.

MERA, P.; FERRON, M.; MOSIALOU, I. Regulation of energy metabolism by bone-derived hormones. **Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine**, v. 8, n. 6, p. 1–16, 2018.

MISCH, C.E. **Implantes dentários contemporâneos**. Editora Santos, São Paulo:455-63, 2004.

MURAMOTO, C.; STERMAN, F. A.; PINTO, A. C. B. C. F. Estabelecimento de valores de densidade mineral óssea (DMO) das regiões metafisária e diafisária do rádio em cães da raça Poodle por meio da Densitometria Óptica Radiográfica. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 42, n. 2, p. 89–97, 2004.

MURSHED, M. Mechanism of Bone Mineralization. **Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine**, p. a031229, 2018.

NACKAERTS, O.; JACOBS, R.; PILLEN, M.; ENGELEN, L.; GIJBELS, F.; DEVLIN, H.; LINDH, C.; NICOPOULOU-KARAYIANNI, K.; VAN DER STELT, P.; PAVITT, S.; HORNER, K. Accuracy and precision of a densitometric tool for jaw bone. **Dentomaxillofacial Radiology**, v. 35, n. 4, p. 244–248, 2006.

NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE. **Medical Subject Headings**. Disponível em:http://www.nlm.nih.gov/cgi/mesh/2011/MB_cgi?mode=&term=Bone+Density&format=HTML ry. Acesso em: 21 jun. 2018

NORDIN, M.; FRANKEL, V. H. **Biomecânica básica do sistema musculoesquelético**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.

OLIVEIRA, M. T.; GOUVEIA, L. B.; LOUZADA, M. J. Q. Development of advanced algorithm for measuring bone density based on radio graphic densitometry. In: IBERIAN CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES (CISTI), 11., 2016. **Anais...** IEEE, 2016.

OWEN, M. Measurement of the variations in calcification in normal rabbit bone. **The Journal of Bone and Joint Surgery**, v. 38B, n. 3, p. 762-769, 1956.

PECK, W. A. et al. Consensus Development Conference: Diagnosis, Prophylaxis, and Treatment of Osteoporosis. **The American Journal of Medicine**, v. 94, p. 646–650, 1994.

PEDROSA, E. F. N. C. **Correlação entre fatores de qualidade óssea mandibular e densidade óssea mineral em mulheres brasileiras**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba. 2009.

RACHNER, T. D.; KHOSLA, S.; HOFBAUER, L. C. Osteoporosis: Now and the future. **The Lancet**, v. 377, n. 9773, p. 1276–1287, 2011.

RENZ, D. M.; MALICH, A.; ULRICH, A.; PFEIL, A.; MENTZEL, H. J.; STREITPARTH, F.; MAURER, M. H.; TEICHGRÄBER, U. K.; BÖTTCHER, J. Reference values for digital X-ray radiogrammetry parameters in children and adolescents in comparison to estimates in patients with distal radius fractures. **Journal of Bone and Mineral Metabolism**, v. 34, n. 1, p. 55–64, 2016.

RETT, S. R.; SANTANA, D. M. V.; YANAGUIZAWA, J. A.; ARMANDO, H. Computed Radiography and Microtomography of Riveted Lap Joints of GlareTM Subjected to Constant Amplitude Loading (CAL) Fatigue. **17th World Conference on Nondestructive Testing**, p. 25–28, 2008.

SALZEDAS, L. M. P.; LOUZADA, M. J. Q.; OLIVEIRA FILHO, A. B. Radiopacity of restorative materials using digital images. **Journal of Applied Oral Science**, v. 14, n. 2, p. 147–152, 2006.

SANTIAGO, R.C.; VITRAL, P.W.F. Métodos de avaliação da densidade mineral óssea e seu emprego na odontologia. **Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada**, v. 6, n. 3, p. 289-294, 2006.

SIMONELLI, C.; LEIB, E.; MOSSMAN, N.; WINZENRIETH, R.; HANS, D.; MCCLUNG, M. Creation of an age-adjusted, dual-energy x-ray absorptiometry-derived trabecular bone score curve for the lumbar spine in non-hispanic US white women. **Journal of Clinical Densitometry**, v. 17, n. 2, p. 314–319, 2014.

TESTUT, L. **Traite d'Anatomie Humaine**. 5. ed. Paris: Octave Doin, 1904.

TIPLER, P. A. **Física**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, v. 1, 1984.

TROUERBACH, W. T.; STEEN, W. H. A.; ZWAMBORN, A. W.; SCHOUTEN, H. J. A. A study of the radiographic aluminum equivalent values of the mandible. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology**, v. 58, n. 5, p. 610–616, 1984.

VEIGA, C. A. C.; CASTIBLANCO D. M. C.; SGAVIOLI, S.; MORENO, G. M. B.; SILVA SOBRINHO, A. G.; BARALDI-ARTONI, S. M. Desenvolvimento do fêmur de cordeiros alimentados com silagem de milho ou cana-de-açúcar. **Ars Veterinaria**, v. 32, n. 1, p. 35–41, 2016.

VOSER, R.C. **Comparação da densidade mineral óssea entre homens de meia idade que exercem diferentes tipos de atividades profissionais**. 2006. 146 f. Tese (Doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

VULCANO, L.C.; CIARLINI, L.D.R.P.; LOUZADA, M.J.Q.; CALDAS, E.L.C. Valores normais da densidade óssea do carpo ulnar em potros em crescimento da raça quarto de milha, através da densidade óptica radiográfica. **A Hora Veterinária**, v. 17, n. 100, p. 52-54, 1997.

WATANABE, P. Osteoporose e a radiografia panorâmica: o que o cirurgião dentista pode analisar. **Revista da ABRO - Associação Brasileira de Radiologia**

Odontológica, v. 11, n. 3, p. 5–21, 2009.

WEBBER, R. L.; RUTTIMANN, U. E.; HEAVEN, T. J. Calibration errors in digital subtraction radiography. **Journal of Periodontal Research**, v. 25, p. 268–275, 1990.

WHAITES, E. **Princípios da radiologia odontológica** 3. ed. Porto Alegre: Artmed; 2003.

WHYTE, M. P. Hypophosphatasia: an overview for 2017. **Bone**, v. 102, p. 15-25, 2017.

YANG, S.; HAGIWARA, S.; ENGELKE, K.; DHILLON, M.S.; GUGLIELMI, G.; BENDAVID, E.J.; SOEJIMA, O.; NELSON, D.L.; GENANT, H.K. Radiographic absorptiometry for bone mineral measurement of the phalanges: precision and accuracy study. **Radiology**, v. 192, p. 857-859, 1994.

YATES, A.J.; ROSS, P.D.; LYDICK, E.; EPSTEIN, R.S. Radiographic absorptiometry in the diagnosis of osteoporosis. **American Journal of Medical**, v. 98, n. 2A, p. 41-47, 1995.

CAPÍTULO 2 - Correlação entre Densidade Radiográfica - DR e Absorciometria por Raios-X de Duas Energias - DXA: Estudo “in vitro”

Resumo

O objetivo desse estudo foi inferir a Densidade Mineral óssea (DMO) a partir da imagem radiográfica (Raios-X) usando como referência a DMO de uma escada de alumínio mensurada por Absorciometria por de Duas-Energias (DXA). Para isso foram utilizadas 30 amostras de tecido ósseo cortical e 30 amostras de tecido ósseo trabecular de osso bovino “in vitro”. Foram mensurados neste estudo a Densidade Mineral Óssea (DMO), o Conteúdo Mineral Ósseo (CMO) ambos obtidos pelo densitômetro LUNAR®-DPX ALPHA; a Quantidade Mineral Óssea (QMO) massa das cinzas após a calcinação das amostras; a densidade real das amostras ($d_{Real} = \text{massa} / \text{volume}$). Foram feitas 10 tomadas de RX com as 60 amostras, entremeadas pela escada de alumínio (referencial densitométrico). A correlação entre as técnicas (DR-tons de cinza e DXA g/cm^2) gerou equações de regressão para cada uma das dez radiografias e permitiu inferir a densidade mineral óssea (DMODR), obtida através da conversão dos tons de cinza em densidade radiográfica pelo software ImageJ® para cada uma das 10 tomadas radiográficas; calculou-se então a média da densidade mineral óssea calculada pela densitometria radiográfica (XDMODR) de todas as dez radiografias. Foi observado que a média da densidade real das amostras foi de $2,2 \pm 0,23 \text{ g}/\text{cm}^2$ e $1,05 \pm 0,09 \text{ g}/\text{cm}^2$ enquanto que a média da densidade mensurada pelo DXA foi de $0,73 \pm 0,11 \text{ g}/\text{cm}^2$ e $0,22 \pm 0,11 \text{ g}/\text{cm}^2$, observou que a media da DMODR ficou em $0,93 \pm 0,11 \text{ g}/\text{cm}^2$ e $0,34 \pm 0,14 \text{ g}/\text{cm}^2$ para o osso cortical e trabecular respectivamente. A média da CMO foi de $0,19 \pm 0,9 \text{ g}$ e $0,08 \pm 0,02 \text{ g}$ e a media da QMO $0,14 \pm 0,04 \text{ g}$ e $0,05 \pm 0,03 \text{ g}$ para o osso cortical e trabecular respectivamente. Foi possível obter bons coeficientes de determinação entre todas as variáveis estudadas: CMO e QMO, $R^2 = 0,747$; DMO e d_{Real} com $R^2 = 0,765$; d_{Real} e DMODR; DMO e XDMODR, respectivamente 0,764 e 0,856. Para as correlações foram usadas as amostras de dois tecidos ósseos cortical e trabecular, o que sugere distinção entre as amostras com as metodologias utilizadas.

Palavras-chave Densidade Mineral Óssea; Escada de Alumínio; Densitometria Radiográfica; Absorciometria por Raios-X de Duas-energias (DXA), Osso Cortical e Trabecular “in vitro”

Correlation between Radiographic Density - RD and Dual-energy X-ray Absorptiometry - DXA "in vitro" study

Abstract

The aim of this study was to infer the bone mineral density (BMD) from the radiographic image (X-X) with reference to the BMD of an aluminum step wedge measured by absorptiometry Dual-energy (DXA). For this we used 30 samples of cortical bone 30 and cancellous bone tissue samples of bovine bone "in vitro". Were measured in this study Bone Mineral Density (BMD), bone mineral content (BMC) both obtained by densitometer LUNAR® DPX-ALPHA; Volume Bone Mineral (QMO) mass of ash after calcination of the samples; the real density of the samples ($d_{Real} = \text{mass} / \text{volume}$). 10 taken RX were made with the samples 60, interspersed by aluminum step wedge (densitometric reference). The correlation between the techniques (gray DR-tones and DXA g / cm^2) generated

regression equations for each of the ten X-rays and allowed to infer bone mineral density (DMODR) obtained by converting grayscale radiographic density by ImageJ® for each of the 10 radiographic taken. It was then calculated average bone mineral density calculated by X-ray densitometry (XDMODR) radiographs of all ten. Was observed that the average true density of the samples was $2.2 \pm 0.23 \text{ g/cm}^2$ and $1.05 \pm 0.09 \text{ g/cm}^2$ while the average density measured by DXA was $0.73 \pm 0.11 \text{ g/cm}^2$ and $0.22 \pm 0.11 \text{ g/cm}^2$ interesting that the average DMODR was $0.93 \pm 0.11 \text{ g/cm}^2$ and $0.34 \pm 0.14 \text{ g/cm}^2$ for cortical and cancellous bone respectively. The average of the BMC was $0.19 \pm 0.08 \text{ g}$ and $0.9 \pm 0.02 \text{ g}$, and the average QMO $0.14 \pm 0.04 \text{ g}$ and $0.05 \pm 0.03 \text{ g}$ for cortical and cancellous bone respectively. It was possible to obtain good determination coefficients between all variables: BMC and QMO, $R^2 = 0.747$; BMD and dReal with $R^2 = 0.765$; dReal and DMODR; BMD and XDMODR respectively 0.764 and 0.856. For correlations were used two samples of cortical and cancellous bone tissues, suggesting a difference between the samples with the methodologies used.

Key words Bone Mineral Density; Aluminium step-wedge; DXA; Radiographic Density; Cortical and cancellous bone “in vitro”

1. INTRODUÇÃO

Desde a descoberta dos Raios-X por Röntgen já era esperado por pesquisadores pioneiros como Price, (1901) e Tuttle, (1934); ao utilizar aparatos metálicos às radiografias, mensurar a Densidade Mineral Óssea (DMO), relacionando-a a densidade dos materiais empregados na execução destas. Têm-se utilizado a técnica de Densitometria Radiográfica (DR) de imagens radiográficas para o processamento e análise das condições biofísicas e patológicas do tecido ósseo como a osteopenia e a osteoporose (STERMAN, 2001; HAYTEK, 2002; MURAMOTO, 2003; GONNELLI et al., 2008; ALVES; STERMAN, 2010 e TOLJAMO et al., 2013). Hoje é notável a importância da radiografia para a medição da densidade óssea (DO) para diversas situações as quais podem-se incluir a existência de poucos centros com aparelhos densitometria, em contrapartida com equipamentos de Raios-X (AMARAL et al., 2017), a distância geográfica de algumas populações em alcance a tais (DELAMATER et al., 2012) além do custo elevado destes exames.

A imagem digital tornou-se uma realidade no diagnóstico de diversas enfermidades de origem sistêmica ou local (RENZ et al., 2016). Com o advento da radiografia digital tornou-se possível visualizar imagens radiográficas por meio de programas de tratamento de imagens, pois utilizando-se um computador é possível alterá-las, melhorando e compensando as possíveis deficiências da acuidade visual humana na distinção de densidade e contraste de tons de cinza (GUERRA; VULCANO; ROCHA, 2006; KHADEMI, 1996). Com relação à avaliação da densidade por meio de radiografias digitais, este método também se

constitui um importante recurso para determinar o grau de densidade de materiais (PEREIRA et al., 2005), (SALZEDAS; LOUZADA; OLIVEIRA FILHO, 2006; FERNANDES et al., 2012; OLIVEIRA; GOUVEIA; LOUZADA, 2016). Pesquisas tecnicamente padronizadas e adaptadas a uma escada de alumínio, indicam que este material confere curva de densidade característica ao tecido ósseo, permitindo avaliar a DO (TROUERBACH, 1984; NACKAERTS et al., 2006).

A densitometria óssea realizada através da Absorciometria por Raios-X de Duas-energias (DXA) é considerada pela Organização Mundial da Saúde (OMS), desde 1994, como “padrão-ouro” para o diagnóstico de osteoporose (KANIS et al, 1994), assim demais pesquisadores, dentro dos mesmos parâmetros, vêm considerando tal situação (NACKAERTS et al., 2006; LEIB et al., 2014; ALOMARI; WILLE; LANGTON, 2018), e desde então, o número de estudos relacionando as técnicas densitométricas têm aumentado consideravelmente.

O software ImageJ® (*Wayne Rasband, National Institutes of Health, USA*) é um software de domínio público que permite ao operador realizar predições de DO, em tons de cinza, sobre a aquisição de imagens radiográficas digitais (TAKESHITA et al., 2017). A análise de imagens digitais possui precisão similar que a técnica DXA e possui menos ruído que a digitalização do filme radiográfico, fornecendo valores numéricos precisos e confiáveis aos estudos comparativos de radiodensidade (KAPILA et al., 2014). Na análise de imagens digitais, podemos mensurar a densidade radiográfica, nos tons de cinza dos pixels, fornecendo os valores variando numa escala de zero (preto) a 255 (branco) tons de cinza (WEATHERHOLT et al., 2016), além disso, não é necessário subtrair o ruído de fundo, como feito em imagens digitalizadas obtidas por filmes convencionais de Raios-X, ao calcular a radiopacidade (DUKIC, 2012). O uso de imagens digitalizadas e análise de imagens radiográficas auxiliada por computador com softwares especialmente desenvolvidos para esse fim permite o desenvolvimento de estudos de radiopacidade com metodologias mais simplificadas e reprodutíveis que podem fornecer resultados confiáveis, proporcionando fórmulas que forneceram cálculos simples para estimar a DMO, economizando tempo e valores com a análise (GIGLIO et al., 2006; SINGH et al., 2016).

Com as hipóteses de que a técnica de DR é eficiente na avaliação da DMO e que a escada de alumínio pode ser elo de relação entre a técnica DXA e DR. Desta maneira, foi realizado o presente estudo comparativo entre estas técnicas, motivado pelo objetivo em determinar a correlação entre DXA e DR, utilizando como objeto de estudo uma escada de alumínio e amostras de tecido ósseo bovino. Objetivou-se determinar as correlações entre os

valores preditos pela DR e aos obtidos pelo DXA em uma escada de alumínio e em amostras ósseas em estudo “*in vitro*”. Supondo que essa metodologia de avaliação da densitometria óssea possa vir a ser utilizada longe dos grandes centros, dá suporte a este estudo a possibilidade de estimativa da DMO de indivíduos residentes em locais carentes de equipamentos de DXA, diminuindo o custo destes exames.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Escada de Alumínio

Foi utilizada uma escada confeccionada em liga específica de alumínio 6063 ABNT, formada por Al-Mg-Si (ASENSIO-LOZANO; SUÁREZ-PEÑA; VOORT, 2014), sendo sua composição, dita em porcentagem de Al: 98,75%; Mg: 0,54%; Si: 0,47% e 0,24% outros elementos químicos (ESPÓSITO; BUSO; MONTEIRO, 2006), padronizada internacionalmente, medindo 25 x 70 mm, como referencial densitométrico, confeccionada com nove degraus, com alturas variando entre 1,19 a 8,73 mm, respectivamente, primeiro e último degrau.

2.2. Amostras de Tecido Ósseo

Da diáfise e da epífise proximal de um fêmur resfriado de bovino recém-abatido (*Bos taurus indicus*), foram extraídas, 30 amostras de tecido ósseo cortical, cortadas manualmente, em forma de cubo (medindo em média $5,10 \pm 0,50$ mm de base, $5,07 \pm 0,41$ mm de altura e $4,93 \pm 0,89$ mm de largura) e 30 amostras do tecido ósseo trabecular, extraídas com uso de uma trefina conectada a um micromotor (potência: 175 w; tensão: 220 v; frequência: 60 Hz; - velocidade: 5000 a 35000rpm, marca: DREMEL, pertencente ao Laboratório de Biofísica da FMVA- Unesp), em forma de cilindros (com 6 mm de diâmetro e altura média de $10 \pm 1,47$ mm). As amostras foram enumeradas individualmente e armazenadas num envelope de EVA 1000 dentro de um béquer coberto com Parafilm M[®], em temperatura ambiente, preservando-as até a experimentação. Os procedimentos experimentais envolvendo os materiais animais deste experimento estão em concordância com os Princípios Éticos da Experimentação Animal e sua execução foi aprovada pela CEUA, sob o processo FOA nº 00143-2018.

2.3. Radiografias

As amostras de tecido ósseo foram distribuídas em uma bandeja de baquelite, graduada em milímetros, da marca Lunar[®] medindo 300x150 mm e foram realizadas dez tomadas radiográficas com aparelho de Raios-X (marca CRX, modelo SHF730, ano de fabricação 1999), calibrado, pertencente ao Hospital Veterinário “Luiz Quintiliano de

Oliveira” da Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba (FMVA) – UNESP, utilizando 40 kV e 6,2 mAs, em um cassete de 24 x 30 cm. As dez imagens foram obtidas, sequencialmente com um intervalo de 7 minutos entre elas, com scanner digitalizador (marca Carestream, modelo Direct View Classic CR, software Kodak Direct View CR, versão 5.0). A escada de alumínio foi posicionada no centro do chassi entre os blocos e os cilindros ósseos, servindo como objeto de estudo e como referencial densitométrico para as análises nas amostras ósseas. Para as análises, as imagens radiográficas foram armazenadas em extensão TIFF, apresentando como medidas 259x 527 pixels, apresentando em ambas as resoluções, vertical e horizontal 96 dpi, gerando 103,96 px/mm².

2.4. Densitometria Radiográfica - DR

Para a mensuração de tons de cinza foi utilizado o software ImageJ®. As imagens foram capturadas e, obtidos os tons de cinza para calcular a Densidade Radiográfica - dRad nas regiões de interesse (RDI) utilizando os tons de cinza da escada de alumínio como referência, a saber: nos degraus da escada de alumínio, delimitando um retângulo como RDI; foi utilizada a mesma área de RDI em todas as amostras ósseas e degraus da escada de alumínio, o que permitiu detectar variações em 256 tons de cinza, sendo o valor zero o preto absoluto e o valor 255 o branco absoluto, correspondendo às variações na densidade radiográfica, como relatam os estudos de Ortman et al. (1985), Southard e Southard (1994).

2.5. Absorciometria por Raios-X de Duas Energias – DXA

Para as análises de Densidade Mineral Óssea (DMO) e Conteúdo Mineral Ósseo (CMO) foi utilizado densitômetro ósseo LUNAR – modelo DPX ALPHA¹, do Laboratório de Biofísica FMVA/UNESP-Araçatuba. Tanto a escada quanto as amostras de tecido ósseo foram acondicionados em recipiente contendo água com 2 cm de profundidade, simulando tecido mole, conforme especificações do fabricante do densitômetro. Foi utilizado o programa computacional para Pequenos Animais da própria empresa, para a obtenção das densidades nos degraus da escada e nas amostras de tecidos ósseos. As amostras de tecido ósseo foram analisadas individualmente em seus respectivos grupos.

2.6. Densidade Real (dReal)

Para o cálculo da densidade, o volume das amostras de tecido ósseo foi estimado após medidas com Paquímetro Digital (150mm/6" CD-6" CSX-B, exatidão $\pm 0,02$ mm, marca Mitutoyo®) e mensuração das massas em balança semi-analítica (UniBloc SHIMADZU®, modelo AUY220, Max 220g Min 0,010g, precisão: 0,0001g); pertencente ao Laboratório de

¹ (Processo FAPESP n. 2004/13264-7)

Bromatologia da FMVA / UNESP Araçatuba. Com estes parâmetros foi calculada a dReal pela relação massa/volume geométrico de cada amostra, sendo que o volume das amostras foi calculado pela multiplicação das três medidas obtidas em relação ao formato da amostra, bloco ($V = h.l.p$) e cilindro ($V = \pi.r^2.h$), respectivamente.

2.7. Calcinação

Para obtenção da Quantidade Mineral Óssea (QMO) as amostras ósseas foram secadas em estufa 105° C por 24 horas, acondicionadas em cadinhos de porcelana e levados a uma mufla (marca Quimis, modelo Q318.24), a 800° C por 24 horas, onde ocorreu a calcinação do material orgânico. Aguardou-se o esfriamento das amostras de tecido ósseo por 6 horas, estas ficaram acondicionadas em um dessecador da marca Pyrex de 7 litros– diâmetro de 250 mm e sequencialmente foi realizada a mensuração das massas na mesma balança semi-analítica, equipamentos pertencentes ao Laboratório de Bromatologia da FMVA Unesp Araçatuba.

2.8. Estatística

Para cada uma das dez tomadas radiográficas da escada de alumínio foi calculado o coeficiente de determinação entre os tons de cinza obtidos pelo ImageJ®, e a DMO obtida pela DXA em g/cm^2 . Com as 10 equações obtidas para a escada de alumínio e com os valores de dRad para cada amostra óssea, 30 de tecido ósseo cortical e 30 de tecido ósseo trabecular, foi determinado o valor de “densidade mineral óssea” obtido por densidade radiográfica, denominado “DMODR”, mensurado em tons de cinza. As médias das DMODR para cada amostra nas dez radiografias foram correlacionadas com os valores de DMO obtidos pela DXA. Também foram realizadas correlações entre as variáveis QMO e CMO; dReal e DMO; dReal e XDMODR; DMO e XDMODR. As análises foram feitas no Microsoft Excel® 2010 para obtenção das equações e seus coeficientes de determinação.

3. RESULTADOS

3.1. Avaliação na Escada

Na Tabela 1 estão as alturas dos degraus da escada de alumínio, os valores correspondentes de DMO (g/cm^2) obtidos com o DXA, e os tons de cinza (dRad), obtidos pelo software ImageJ® para cada uma das 10 imagens radiográficas (RX) da escada de alumínio. Foi calculado também o coeficiente de variação entre as 10 repetições do RX para cada degrau. Foi observado que quanto maior o degrau, maior foi o índice de atenuação aos Raios-X, indicando para o valores de tons de cinza, zero (preto) uma menor atenuação enquanto que para o valor 255 (branco) maior atenuação, isto é definido pela quantidade de

Raios-X que chegam pela quantidade de Raios-X que passam pelo material da liga de alumínio ABNT 6063.

Tabela 1 - Altura dos degraus de uma escada de alumínio (cm), DMO calculada pelo DXA (g/cm^2), dRad (tons de cinza) para cada degrau da escada de alumínio em 10 repetições de radiografias retiradas sucessivamente, e o coeficiente de variação entre as 10 radiografias para cada degrau.

Altura (cm)	DMO (g/cm^2)	dRad (tons de cinza)											CV
		Rx1	Rx2	Rx3	Rx4	Rx5	Rx6	Rx7	Rx8	Rx9	Rx10	XdRad	
1,19	0,058	67,64	94,97	87,16	71,53	85,99	6,64	5,68	77,03	17,83	6,46	52,09	72,77
2,17	0,197	97,62	125,75	121,24	80,28	116,05	12,83	11,33	117,08	22,89	12,96	71,80	70,54
3,15	0,36	126,38	158,39	149,63	96,77	142,78	23,34	21,23	153,44	32,16	24,1	92,82	65,43
4,12	0,506	145,63	181,63	171,82	120,12	162,5	39,65	36,58	180,09	45,9	41,51	112,54	57,02
5,11	0,671	156,63	199,03	188,14	151,37	175	59,87	57,07	199,7	63,55	63,71	131,41	47,61
6,07	0,822	163,35	210,56	200,12	188,67	184,31	82,51	80,5	213,44	85,51	88,57	149,75	38,79
7,07	0,974	168,06	220,09	209,88	226,52	191,27	108,56	107,02	223,16	107,88	115,34	167,78	31,49
7,94	1,155	172,32	231,78	223,07	254,1	199,7	148,93	150,47	235,92	139,35	152,59	190,82	22,55
8,73	1,311	175,98	243,17	238,18	255	206,89	187,52	190,88	246,29	179,79	193,69	211,74	14,45

Na Tabela 2, estão as equações de correlação entre dRad e DMO obtidas nas 10 tomadas radiográficas da escada de alumínio e seus respectivos coeficientes de determinação, essas equações foram utilizadas para calcular a densidade mineral óssea (DMODR) a partir da densidade radiográfica para cada amostra de tecido ósseo em cada uma das 10 radiografias.

Tabela 2 - Equações de regressões entre a dRad e a DMO para cada imagem radiográfica e o respectivo coeficiente de determinação- R^2 utilizando como referencia a escada de alumínio. ($y = \text{DMO}$; $X = \text{dRad}$).

Rx	Equação de regressão	(R^2)
1	$y = 2,52X^3 - 7,92X^2 + 8,51X - 2,86$	0,995
2	$y = 0,51X^2 - 0,91X + 0,49$	0,995
3	$y = 0,44X^2 - 0,58X + 0,24$	0,997
4	$y = 0,35X^3 - 1,78X^2 + 3,37X - 1,56$	0,991
5	$y = 0,90X^2 - 1,65X + 0,85$	0,992
6	$y = 0,21X^3 - 0,87X^2 + 1,61X - 0,09$	0,997
7	$y = 0,23X^3 - 0,94X^2 + 1,65X + 0,08$	0,997
8	$y = 0,25X^3 - 0,82X^2 + 1,21X - 0,51$	0,999
9	$y = 0,28X^3 - 1,16X^2 + 2,06X - 0,23$	0,996
10	$y = 0,17X^3 - 0,74X^2 + 1,47X + 0,04$	0,997

3.2. Estudo das Amostras Ósseas

Utilizando as equações de correlação (Tabela 2) para cada uma das dez radiografias, foi calculada a densidade mineral óssea - “DMODR” para cada amostra. Este procedimento foi realizado para todas as sessenta amostras ósseas (30 de osso cortical e 30 de

osso trabecular). Na Tabela 3, são apresentados para cada amostra de tecido ósseo (n=30 cortical ou n=30 trabecular), os valores de DMO obtidos pelo DXA, dReal obtidos pela relação massa/volume geométrico, QMO obtido pela quantidade de cinzas após calcinação, CMO obtido pelo DXA e as médias de DMODR calculadas pelas equações de regressão obtidas a partir da escada de alumínio.

Tabela 3 - Valores obtidos para as 30 amostras ósseas corticais ou trabeculares de Densidade Mineral Óssea (DMO), densidade real (dReal), Quantidade Mineral Óssea (QMO), Conteúdo Mineral Ósseo (CMO) e a média da Densidade Mineral Óssea dada pela Densitometria Radiográfica (XDMODR).

CORTICAL						TRABECULAR				
Amostr a	DMO (g/cm ²)	dReal (g/cm ³)	QMO (g)	CMO (g)	XDMODR (g/cm ²)	DMO (g/cm ²)	dReal(g/cm ³)	QMO (g)	CMO (g)	XDMODR (g/cm ²)
1	0,632	1,89	0,08	0,08	1,03	0,268	1,25	0,11	0,05	0,54
2	0,569	1,94	0,12	0,08	0,90	0,156	1,14	0,08	0,03	0,36
3	0,614	1,88	0,15	0,08	0,94	0,048	0,93	0,04	0,01	0,21
4	0,564	1,97	0,08	0,07	0,80	0,091	1,13	0,06	0,02	0,23
5	0,588	1,88	0,09	0,08	0,90	0,049	1,01	0,05	0,01	0,23
6	0,584	1,84	0,07	0,09	0,89	0,158	1,14	0,08	0,03	0,37
7	0,626	1,95	0,10	0,10	0,95	0,095	1,08	0,07	0,02	0,25
8	0,637	3,20	0,14	0,11	0,96	0,050	0,98	0,05	0,01	0,19
9	0,551	2,04	0,10	0,10	0,89	0,104	0,98	0,07	0,02	0,52
10	0,616	2,04	0,08	0,11	0,95	0,243	1,17	0,11	0,05	0,30
11	0,865	2,00	0,15	0,14	1,08	0,182	1,00	0,06	0,04	0,25
12	0,692	2,01	0,11	0,12	0,86	0,213	1,02	0,07	0,05	0,26
13	0,654	1,97	0,12	0,12	0,78	0,179	0,97	0,06	0,04	0,35
14	0,778	1,98	0,13	0,15	1,00	0,257	1,05	0,09	0,06	0,35
15	0,823	1,95	0,21	0,14	1,04	0,275	1,03	0,09	0,07	0,53
16	0,734	2,05	0,21	0,15	0,85	0,340	1,01	0,11	0,09	0,47
17	0,737	1,97	0,21	0,14	0,93	0,200	1,00	0,07	0,04	0,26
18	0,751	1,99	0,25	0,16	0,87	0,420	1,03	0,12	0,11	0,22
19	0,735	2,03	0,22	0,16	0,95	0,142	0,97	0,06	0,03	0,16
20	0,785	2,03	0,22	0,16	0,91	0,320	0,99	0,09	0,08	0,44
21	0,814	1,98	0,21	0,15	1,05	0,260	1,04	0,08	0,05	0,41
22	0,824	2,03	0,22	0,16	0,95	0,340	1,11	0,11	0,07	0,50
23	0,873	1,93	0,25	0,17	1,09	0,145	0,93	0,05	0,02	0,14
24	0,721	2,03	0,23	0,16	0,70	0,391	1,32	0,11	0,07	0,28
25	0,821	2,04	0,25	0,21	0,99	0,195	1,04	0,07	0,03	0,17
26	0,840	2,05	0,22	0,19	0,81	0,291	1,05	0,10	0,07	0,48
27	0,893	1,99	0,30	0,21	1,08	0,327	1,04	0,10	0,08	0,32
28	0,751	1,99	0,36	0,17	0,68	0,264	1,04	0,10	0,05	0,41
29	0,754	1,99	0,37	0,15	0,96	0,199	0,95	0,04	0,04	0,36
30	0,938	1,99	0,39	0,19	1,15	0,464	1,12	0,07	0,10	0,73
Média	0,725	2,02	0,19	0,14	0,93	0,222	1,05	0,08	0,05	0,34
DP	0,110	0,23	0,09	0,04	0,11	0,110	0,09	0,02	0,03	0,14
CV	15,13	11,32	47,81	30,00	11,91	49,61	8,53	30,00	56,26	40,45

Foram avaliadas as correlações entre as variáveis CMO e QMO; DMO e dReal; XDMODR e dReal; XDMODR e DMO e obtidas as equações de regressão entre essas variáveis (Fig. 1; 2; 3 e 4).

Desta maneira, foi realizado a correlação entre as variáveis preditas relacionadas ao CMO o qual foi obtido pela técnica DXA e o QMO, obtida pela mensuração da massa após calcinação das 60 amostras de tecido ósseo bovino, sendo 30 corticais e 30 trabeculares (Figura 1). Sequencialmente foi realizado a correlação entre as variáveis preditas de DMO, obtida pela técnica DXA, e a dReal, na relação da massa pelo volume geométrico da amostra, em 60 amostras de tecido ósseo bovino, sendo 30 corticais e 30 trabeculares (Figura 2). Foi correlacionado os valores das variáveis preditas dReal e a XDMODR - Densidade Mineral Óssea obtida pela técnica DR com a média das dez radiografias (Figura3). Correlacionou-se as variáveis XDMODR obtida pela média das mensurações nas 10 radiografias e o DMO que foi mensurado pela técnica DXA, em 60 amostras de tecido ósseo bovino, sendo 30 corticais e 30 trabeculares (Figura 4).

Figura 1- Correlação entre o Conteúdo Mineral Ósseo- CMO e a Quantidade Mineral Óssea - QMO

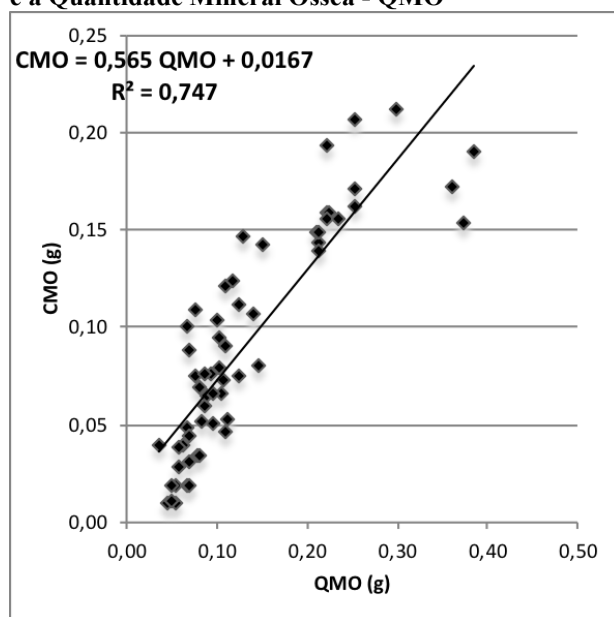


Figura 2 - Correlação entre as variáveis preditas DMO e a dReal.

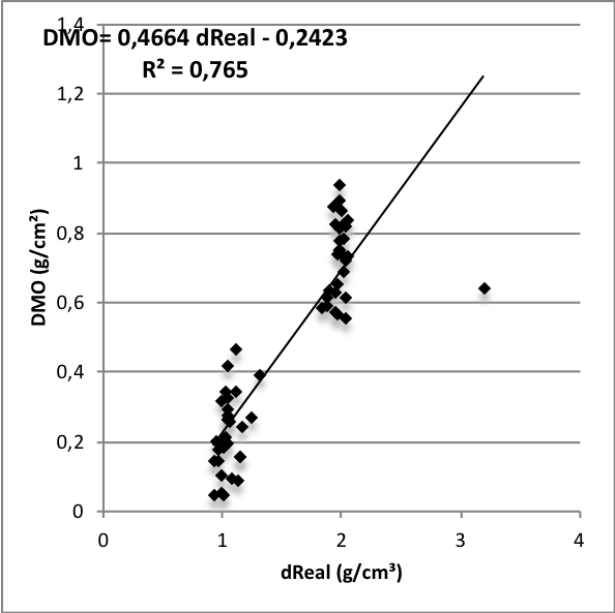


Figura 3 - Correlação entre as variáveis preditas dReal e a XDMODR (média das dez imagens radiográficas).

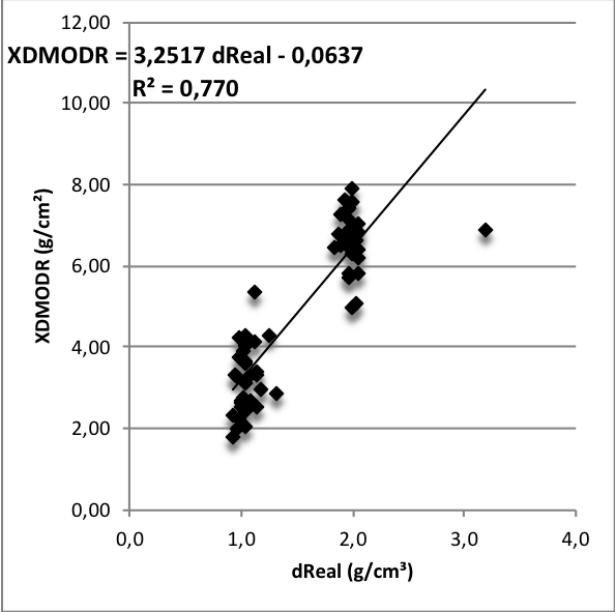
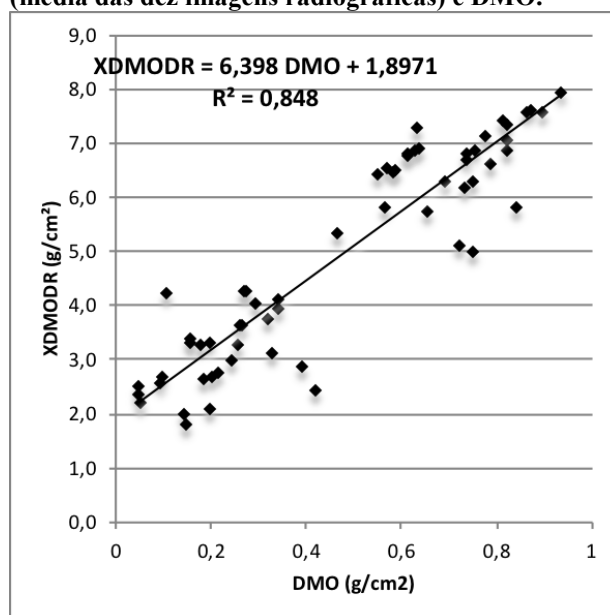


Figura 4- Correlação entre as variáveis XDMODR (média das dez imagens radiográficas) e DMO.



4. DISCUSSÃO

4.1. Escada de alumínio

Em todas as dez tomadas radiográficas, utilizou-se a mesma escada de alumínio com nove degraus, de altura variada (diferentes espessuras, liga 6063 ABNT). Verificou-se variação da “DMODR” para cada degrau da escada, confirmado pelas densidades obtidas pela técnica DXA. Houve diferença de tons de cinza entre as dez tomadas radiográficas para as mesmas amostras ou degraus, possivelmente por oscilações da tensão da rede elétrica, com a possível descalibração da quilovoltagem do aparelho mencionadas anteriormente, fato semelhante foi observado na literatura, (MADELON; SILVA, 2002; RIBEIRO et al., 2016) provocando variação à exposição aos Raios-X. Nas dez repetições das tomadas radiográficas obtiveram-se diferenças no brilho entre as radiografias, e essa variação ficou evidente nas diferentes equações polinomiais obtidas quando ajustadas para um maior coeficiente de determinação entre a DO, obtidas pelo DXA e a DMODR, da escada de alumínio (OLIVEIRA; GOUVEIA; LOUZADA, 2016). Verificou na escada que enquanto a altura dos degraus aumentava também aumentava o valor de dRad entre o primeiro ao nono degrau enquanto que o CV entre as 10 radiografias apresentou relação inversa, quanto maior a DMO menor o coeficiente de variação, o mesmo foi observado por Manson-Hing; Bloxom, (1985). Os valores das dRad tendem a ser diretamente proporcionais à espessura dos degraus, pois à medida que a espessura aumenta ou quanto maior o número atômico do material (COOK, 1981; FREITAS, 2004) menor será a quantidade de Raios-X que precipitará para a formação da imagem radiográfica, produzindo uma imagem radiopaca. Quando há uma menor barreira

e interação maior entre os Raios-X a imagem obtida, será de aspecto radiolúcido. Essa constatação possui repercussão clínica, pois os valores de tecidos com baixa densidade óssea (indicativo de baixa massa óssea, osteopenia e/ou osteoporose) possuem menor precisão de imagem ao Raio-X (KANIS et al, 1994).

A DMO normal sugerida pela OMS na região femoral de humanos é de $0,92 \pm 0,07 \text{ g/cm}^2$ (SCHEIBEL et al., 2009) o que está relacionado aos valores de “DMO” encontrado nos degraus 6 e 7 desta escada de alumínio onde o CV entre as radiográficas ficou em 32%. Esta constatação tem forte implicação quando se deseja avaliar locais onde a literatura é controversa quanto aos valores de densidade óssea no esqueleto humano, como no quadril, punho e coluna lombar (HORNER et al., 1996; ESTRUGO-DEVESA et al., 2018), em referência a etnia, idade, sexo, grau nutricional, massa corporal, predisposição genética e estilo de vida da população (RADOMINSKI et al., 2004; DEFAVORI; SARRIÉS, 2007; BACCARO et al., 2015)

4.2. Densidade Mineral Óssea - DMO

Neste estudo adotou-se como referência a DMO e CMO obtida pela técnica DXA (KANIS, et al, 1994); o coeficiente de variação da média da DMO e CMO foi elevado entre as amostras de tecido ósseo cortical (15% e 30%) trabecular (50% e 56%), respectivamente. Observamos que a média de DMODR para o osso trabecular foi de $0,343 \pm 0,14 \text{ g/cm}^2$ e para o osso cortical foi de $0,930 \pm 0,11 \text{ g/cm}^2$, a menor DMODR para a escada de alumínio (degrau 1) foi de $52,09 \text{ g/cm}^2$ e o CV foi de 72,77% entre as 10 radiografias. Essa informação pode justificar o menor coeficiente de determinação entre as variáveis analisadas, aparentemente a utilização de amostras de tecido ósseo (fragmentos pequenos) não condiz com a realidade de análises de um osso como um todo, que inclui duas corticais e uma medular no seu interior, sobrepostas na imagem radiográfica.

O CV da DMO entre as amostras foi maior entre o grupo de amostras ósseas trabeculadas (49%) em comparação às amostras de tecido cortical (15%), reforçando o conceito de maior variabilidade das mensurações quanto menor for a densidade ossea. Considerando as variáveis utilizadas para calcular o dReal, o CV do volume das amostras de tecido cortical foi de 20% e o CV do volume das amostras de osso trabeculado foi de 14%, interessante que a variação dessas medidas ficou bem abaixo da variação das densidades avaliadas por RX ou DXA; Quando se avalia a dReal o CV entre as amostras de osso cortical foi de 11,32%, enquanto que o CV das amostras de tecido ósseo trabeculado foi de 8,53%; Considerando o dReal como uma medida absoluta, ao se inferir a densidade óssea seja por

DXA ou RX a variabilidade entre as amostras aumenta; a DMO apresentou CV de 15% e 50% enquanto que a XDMODR apresentou CV de 12% e 41% entre as amostras de tecido ósseo cortical e trabeculado, respectivamente. Neste trabalho pôde-se supor que as técnicas de mensuração de DMO possuem pouca exatidão se considerarmos a dReal como referência de densidade.

Assumem-se que algumas limitações técnicas tais como o cálculo da DMO ser baseado em uma área bidimensional projetada (WACHTER et al., 2001), a forma dos ossos investigados (PEEL; EASTELL, 1994) e, os erros de medidas encontrados a partir de diferentes softwares e técnicas (KOO; HAMMAMI; HOCKMAN, 2004). Devem-se considerar também os erros humanos na análise de um exame de DMO, resultantes de vários fatores, entre eles a dificuldade de se delimitar a mesma quantidade de tecido ósseo (PACCINI; GLANER, 2008).

4.3. Correlação entre QMO e CMO

Usou-se o QMO no eixo X (Figura 1) por ser uma variável física real, obtida pela mensuração das cinzas. Os dados indicam duas aglomerações distintas para os grupos de tecido ósseo cortical ou trabecular, com correlação positiva. Quando as duas modalidades de tecido ósseo (cortical e medular) foram analisadas em conjunto o coeficiente de determinação foi de $R^2 = 0,747$; quando analisados em separados, os R^2 das correlações entre CMO e QMO foram menores tanto para o grupo cortical ($R^2 = 0,644$) quanto para o grupo trabecular ($R^2 = 0,536$). *In vivo* a mensuração do osso é feita como um todo (ENDO et al., 2016), englobando a região cortical e a região trabecular, o que pode ser evidenciado pela textura óssea refletindo a microarquitetura de cada modalidade óssea (SHAWWA et al., 2016).

Os estudos recentes utilizando o método de Absorciometria Por Raios-X de Duas Energias – DXA têm demonstrado maior precisão nos resultados na mensuração da DMO (SINGH et al., 2016; SRITARA et al., 2016; MORGAN; PRATER, 2017); e do CMO (ERLANDSON; KONTULAINEN; BAXTER-JONES, 2011; ROUX et al., 2013; FEUER et al., 2015), respectivamente.

Neste trabalho foi encontrado, um menor coeficiente de determinação entre DMO e XDMO quando as amostras de tecido ósseo foram analisadas em separado e a DMO foi correlacionada com a XDMODR das dez radiografias. Como foram avaliadas 30 amostras do mesmo osso, houve pouca variação entre a densidade do tecido cortical ou trabecular, mas comparando os dois tecidos com maior variação de densidade, o coeficiente de variação aumentou.

O coeficiente de determinação elevado entre CMO e QMO ($R^2 = 0,747$) sugere que a DXA possui boa precisão nos estudos em peças ósseas pequenas (KASTL et al., 2002), assegurando mensurações confiáveis deste método (BRAILLON et al., 1992; EL MAGHRAOUI; ACHEMLAL; BEZZA, 2006).

4.4. Correlação entre dReal e DMO

Usou-se a dReal como referência no eixo X por ser a técnica mais exata, considerando a massa / volume geométrico. Foi verificada no gráfico (Figura 2) com os dois grupos de amostras ósseas que houve correlação positiva, mostrando diferentes densidades ósseas entre os grupos trabecular e cortical. O aumento da DMO em relação à dReal foi progressivo e positivo; o grupo das amostras de tecido ósseo cortical apresentou pouca dispersão, indicando menor variação entre as amostras deste grupo em relação às amostras de tecido ósseo trabeculado, isto foi verificado pelos CVs de cada amostra (cortical 15,13% e trabecular 49,61%) para a variável DMO. Foi possível obter correlação maior entre DMO e dReal quando as duas modalidades de tecido ósseo quando associadas apresentando o $R^2 = 0,765$; pois quando separados os grupos de amostras, os R^2 das regressões entre CMO e QMO foram menores $R^2 = 0,0003$ para o cortical e $R^2 = 0,1491$ para o trabecular.

4.5. Correlação entre XDMODR e dReal

Na Figura 3 os dois grupos de amostras ósseas se aglutinam indicando diferenças entre eles, tanto na dReal quanto para XDMODR, a dispersão dentro de cada grupo indica que a dReal variou menos para cada grupo amostral do que entre grupos, sendo que a reta de regressão linear apresentada separadamente em cada grupo teve sua inclinação menor, apresentando como coeficiente de inclinação $\beta = 0,473$ para o grupo cortical e de $\beta = 0,027$ para o grupo trabeculado, e quando associados apresentou $\beta = 1,640$, quando a correlação entre dReal e DMODR foi feita com ambos grupos de amostras ósseas, o coeficiente de determinação aumentou. Quando as correlações foram feitas com os grupos de amostra individualmente os R^2 obtidos foram menores, $R^2 = 0,0005$ para o grupo cortical e $R^2 = 0,078$ para o trabecular do que o observado na Figura 3, $R^2 = 0,764$. O comportamento desta correlação foi positivo e progressivo, semelhante ao apresentado na Figura 2, pois a dReal foi a mesma e o comportamento positivo e progressivo da variável XDMODR também foi semelhante ao apresentado anteriormente. Valores obtidos pela correlação entre XDMODR e a dReal, assemelham-se àqueles encontrados por He et al., 2018, ($R^2 = 0,824$), ao quantificar densidade radiográfica com tuberosidade de tíbias humanas em magnitude da escala de tons de cinza.

4.6. Correlação entre DMO e XDMODR

Usou-se o DMO referência no eixo X por ser a técnica de referência. Foi verificada uma dispersão maior dos dados entre os grupos na Figura 4, indicando que os dois grupos de amostras ósseas tiveram um comportamento heterogêneo e semelhante para cada grupo, em progressão positiva, ou seja, à medida que a DMO aumentou a DMODR também aumentou. Quando os grupos de amostras de tecido ósseo foram correlacionados separadamente, R^2 obtido foi menor, $R^2 = 0,22$ para o grupo cortical e $R^2 = 0,30$ para o grupo trabecular do que quando os dois grupos foram analisados associadamente $R^2 = 0,856$, importante salientar que nesta correlação a reta de regressão apresentou uma inclinação maior, e seu coeficiente angular $\beta = 0,796$ foi distinto das demais correlações observadas: Figura 1, $\beta = 1,302$; Figura 2, $\beta = 1,643$ e na Figura 3, $\beta = 1,640$; indicando o quanto varia a média dos valores de XDMODR aumenta o incremento da variável DMO.

5. CONCLUSÕES

Acatamos a hipótese proposta de que a técnica DR pode ser utilizada para determinação da densidade mineral óssea, desde que seja utilizada uma escada de alumínio como referência de densidade radiológica.

A partir deste experimento comparativo entre as técnicas DXA e DR, aceita-se a hipótese de que a técnica DR foi eficiente na avaliação da DMO e que escada de alumínio pode servir de elo de relação entre as técnicas, e que existiu forte correlação entre as variáveis densitométricas analisadas.

As correlações encontradas entre as técnicas DXA e DR demonstram que a DR é uma técnica promissora, por ser economicamente mais vantajosa, na determinação da DMO, que até o momento é realizada pelo “padrão ouro” – DXA.

Para que haja uma conclusão em relação à confiabilidade do uso da DR para determinar a DMO, mais análises devem ser feitas, utilizando maiores quantidades de tomadas radiográficas, com o intuito de determinar a equação final e geral de transferência. Desta maneira, torna-se válida a utilização desta escada de alumínio como uma unidade referencial conhecida para a medição da densidade óssea relativa, embora seja necessária a realização de novos experimentos que investiguem o maior número possível de variáveis que possam interferir na utilização deste tipo de escada na detecção de alterações presentes nos ossos.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S.M.; OLIVEIRA, A.E.F.; FERREIRA, R.I. et al. Image quality in digital radiographic systems. **Braz. Dent. J.**, v.14, n.2, p.136-141.
- ALOMARI, A. H.; WILLE, M. L.; LANGTON, C. M. Bone volume fraction and structural parameters for estimation of mechanical stiffness and failure load of human cancellous bone samples; in-vitro comparison of ultrasound transit time spectroscopy and X-ray μ CT. **Bone**, v. 107, p. 145–153, 2018.
- ALVES, J.; STERMAN, F. D. A. Determinação da densidade mineral óssea da extremidade distal do rádio de cães da raça Rottweiler, por meio da densitometria óptica radiográfica. **Vet. Zootec.**, v. 17, n. 2, p. 229–237, 2010.
- AMARAL, P. V.; ROCHA, T. A. H.; BARBOSA, A. C. Q. et al. Spatially balanced provision of health equipment: A cross-sectional study oriented to the identification of challenges to access promotion. **Int. J. Equity Health**, v. 16, n. 1, p. 1–13, 2017.
- ASENSIO-LOZANO, J.; SUÁREZ-PEÑA, B.; VOORT, G. F. V. Effect of processing steps on the mechanical properties and surface appearance of 6063 aluminium extruded products. **Materials**, v. 7, n. 6, p. 4224–4242, 2014.
- BACCARO, L. F.; CONDE, D. M.; COSTA-PAIVA, L. et al. The epidemiology and management of postmenopausal osteoporosis: A viewpoint from Brazil. **Clin. Interv. Aging**, v. 10, p. 583–591, 2015.
- BRAILLON, P. M.; SALLE, B. L.; BRUNET, J. et al. Dual energy x-ray absorptiometry measurement of bone mineral content in newborns: Validation of the technique. **Pediatr. Res.**, v. 32, n. 1, p. 77–80, 1992.
- COOK, W. D. An investigation of the radiopacity of composite restorative materials. **Aust. Dent. J.**, v. 26, n.2, p.105-112, 1981.
- DEFAVORI, C. G.; SARRIÉS G. A. A correlação de métodos DEXA e CDEXA em

absotimetria mineral óssea. **Radiol. Bras.**, v. 40, n. 3, p. 183-187, 2007.

DELAMATER, P. L.; MESSINA, J. P.; SHORTRIDGE, A. M. et al. Measuring geographic access to health care: raster and network-based methods. **Int. J. Health Geog.**, v. 11, p. 8–11, 2012.

DUKIC, W.; DELIJA, B.; DEROSI, D. et al. Radiopacity of dental materials using a digital X-ray system. **Dent. Mater. J.**, v. 31, n. 1, p. 47–53, 2012.

EL MAGHRAOUI, A.; ACHEMLAL, L.; BEZZA, A. Monitoring of dual-energy X-ray absorptiometry measurement in clinical practice. **J. Clin. Densit.**, v. 9, n. 3, p. 281–286, 2006.

ENDO, K.; YAMADA, S.; TODOH, M. et al. Structural strength of cancellous specimens from bovine femur under cyclic compression. **PeerJ.**, v. 4, p. e1562, 2016.

ERLANDSON, M. C.; KONTULAINEN, S. A.; BAXTER-JONES, A. D. G. Precompetitive and recreational gymnasts have greater bone density, mass, and estimated strength at the distal radius in young childhood. **Osteop. Int.**, v. 22, n. 1, p. 75–84, 2011.

ESPÓSITO, I. M.; BUSO, S. J.; MONTEIRO, W. A. Caracterização mecânica e microestrutural da liga Al 6063 após tratamentos termomecânicos. In: 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, **Anais...**2006.

ESTRUGO-DEVESA, A.; SEGURA-EGEA, J.; GARCÍA-VICENTE, L. et al. Correlation between mandibular bone density and skeletal bone density in a Catalanian postmenopausal population. **Oral Sur. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol.**, v. 125, n. 5, p. 495–502, 2018.

FERNANDES, L. O.; CASSIMIRO-SILVA, P. F.; MASSA, M. E. et al. Radiopacity of resin cements: in vitro study radiopacidade de cimentos resinosos: estudo in vitro. **RGO Rev. Gaúcha Odonto**, v. 60, n. 2, p. 169–177, 2012.

FEUER, A. J.; DEMMER, R. T.; THAI, A. et al. Use of selective serotonin reuptake inhibitors and bone mass in adolescents: an NHANES study. **Bone**, v. 78, p. 28–33, 2015.

- 495 FREITAS, A., ROSA, J. E., FARIA e SOUZA, I. **Radiologia odontológica**. 6. ed. São Paulo:
496 Artes Médicas; 2004.
- 497
- 498 GIGLIO, R. F.; BALIEIRO, J. C. D. C.; STERMAN, F. D. A. et al. Estudo longitudinal da
499 densidade mineral óssea em cães jovens da raça Golden Retriever: correlações com idade e
500 peso corpóreo. **Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci.**, v. 43, p. 681–687, 2006.
- 501
- 502 GONNELLI, S.; CAFFARELLI, C.; HAYEK, J. et al. Bone ultrasonography at phalanxes in
503 patients with rett syndrome: a 3-year longitudinal study. **Bone**, v. 42, n. 4, p. 737–742, 2008.
- 504
- 505 GUERRA, P. C.; VULCANO, L. C.; ROCHA, N. S. Avaliação radiográfica, densitométrica e
506 histológica do uso de perfurações ósseas para o estímulo de consolidação de fraturas do terço
507 distal do rádio de cães. **Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci.**, v. 43, n. 2, p. 186–195, 2006.
- 508
- 509 HAYTEK, J. E. **Avaliação da densidade óptica perimplantar cervical em controle**
510 **longitudinal**. 2002. 179f. Dissertação (Mestrado em Radiologia) – Faculdade de Odontologia,
511 Universidade de São Paulo, São Paulo.
- 512
- 513 HE, Q.-F.; SUN, H.; SHU, L.-Y. et al. Radiographic predictors for bone mineral loss. **Bone**
514 **Joint Res.**, v. 7, n. 7, p. 468–475, 2018.
- 515
- 516 HORNER, K.; DEVLIN, H.; ALSOP, C. W. et al. Mandibular bone mineral density as a
517 predictor of skeletal osteoporosis. **Br. J. Radiol.**, v. 69, n. 827, p. 1019–1025, 1996.
- 518
- 519 KANIS, J. A.; MELTON, L. J. 3RD; CHRISTIANSEN, C. et al. The diagnosis of
520 osteoporosis. **J. Bone Miner. Res.**, v. 9, n. 8, p. 1137–1141, 1994.
- 521
- 522 KAPILA, R.; MATSUDA, Y.; NISHIKAWA, K. et al. Comparison of ISO method with two
523 new methods for determining the radiopacity of restorative resins. **Dent. J. Adv. Stud.**, v. 2,
524 n. 2, p. 74–79, 2014.
- 525
- 526 KASTL, S.; SOMMER, T.; KLEIN, P. et al. Accuracy and precision of bone mineral density
527 and bone mineral content in excised rat humeri using fan beam dual-energy X-ray
528 absorptiometry. **Bone**, v. 30, n. 1, p. 243–246, 2002.

KHADEMI, J.A. Digital images & sound. **J. Dent .Educ.** 1996;60(1):41-6.

KOO, W.W. K.; HAMMAMI, M.; HOCKMAN, E. M. et al. Validation of bone mass and body composition measurements in small subjects with pencil beam Dual Energy X-Ray Absorptiometry. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 23, n. 1, p. 79–84, 2004.

LEIB, E.; WINZENRIETH, R.; AUBRY-ROZIER, B. et al. Vertebral microarchitecture and fragility fracture in men: A TBS study. **Bone**, v. 62, p. 51–55, 2014.

MADELON, A. F. Z.; SILVA, T. A. Requisitos de proteção radiológica em clínicas odontológicas. In: NATIONAL MEETING ON NUCLEAR APLICATIONS, 2002. **Anais...**

MANSON-HING, L. R.; BLOXOM, R. M. A stepwedge quality assurance test for machine and processor in dental radiography. **J. Am. Dent. Assoc.**, v. 110, n. 6, p. 910–913, 1985.

MORGAN, S. L.; PRATER, G. L. Quality in dual-energy X-ray absorptiometry scans. **Bone**, v. 104, p. 13–28, 2017.

MURAMOTO, C. **Estabelecimento de valores de densidade mineral óssea (DMO) das regiões metafisárias e diafisárias do rádio em cães da raça poodle por meio da densitometria óptica radiográfica.** 2003. 125 f. Dissertação (Mestrado em Cirurgia) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, 2003.

NACKAERTS, O.; JACOBS, R.; PILLEN, M. et al. Accuracy and precision of a densitometric tool for jaw bone. **Dentomaxillof. Radiol.**, v. 35, n. 4, p. 244–248, 2006.

OLIVEIRA, M. T.; GOUVEIA, L. B.; LOUZADA, M. J. Q. Development of advanced algorithm for measuring bone density based on radio graphic densitometry. In: IBERIAN CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES (CISTI), 11., 2016. **Anais...** IEEE, 2016.

ORTMAN, L. F.; DUNFORD, R.; MCHENRY, K. et al. Subtraction radiography and computer assisted densitometric analyses of standardized radiographs: A comparison study

with 125I absorptiometry. **Journal of Periodontal Research**, v. 20, n. 6, p. 644–651, 1985.

OSTERTAG, A.; COLLET, C.; CHAPPARD, C. et al. A case-control study of fractures in men with idiopathic osteoporosis: fractures are associated with older age and low cortical bone density. **Bone**, v. 52, n. 1, p. 48–55, 2013.

PACCINI, M. K.; GLANER, M. F. Bone mineral density and dual-energy x-ray absorptiometry. **Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano**, v. 10, n. 1, p. 92–99, 2008.

PEEL, N.F.A.; EASTELL, E. Diagnostic Value of Estimated Volumetric Bone Mineral Density of the Lumbar Spine in Osteoporosis. **Journal of Bone and Mineral Research**, v. 9, n. 3, p. 317–320, 1994.

PEREIRA, A. S. R.; PIRES, M. M.; FIGUEIREDO, J. A. P. et al. Analysis of the gray scale levels for 4 micro-híbrids composite resins using a radiograph direct digital system. **Rev. Odonto Ciência**, v. 20, n. 47, p. 3–10, 2005.

PRADO FILHO, J. R. C.; STERMAN, F. D. A. Avaliação da densidade mineral óssea em potros da raça Puro Sangue Inglês em início de treinamento. **Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci.**, v. 41, n. 6, p. 384–388, 2004.

PRICE, W. A. The science of dental radiology. **Dent. Cosmos**, v. 43, p. 484, 1901.

RADOMINSKI, S. C.; PINTO-NETO, A. M.; MARINHO, R. M. et al. Osteoporose em mulheres pós – menopausa. **Rev. Bras. Reumatol.**, v. 44, n. 6. p. 426-34. 2004.

RENZ, D. M.; MALICH, A.; ULRICH, A. et al. Reference values for digital X-ray radiogrammetry parameters in children and adolescents in comparison to estimates in patients with distal radius fractures. **J. Bone Miner. Metabol.**, v. 34, n. 1, p. 55–64, 2016.

RIBEIRO, E. C.; OLIVEIRA, D. H. M.; SOUSA FILHO, L. F. et al. Avaliação da Adequação de Aparelhos de Raios-X Intraorais à Portaria 453/1998 da Secretaria de Vigilância Sanitária. **Revista Brasileira de Ciências da Saúde**, v. 20, n. 4, p. 313–318, 2016.

- 597 RICHARDS, A. G. Roentgenographic technics made to order. **J. Am. Dent. Assoc.**, v. 39, n.
598 4, p. 396–404, 1949.
- 599
- 600 ROUX, J. P.; WEGRZYN, J.; BOUTROY, S. et al. The predictive value of trabecular bone
601 score (TBS) on whole lumbar vertebrae mechanics: an ex vivo study. **Osteop. Int.**, v. 24, n. 9,
602 p. 2455–2460, 2013.
- 603
- 604 SALZEDAS, L. M. P.; LOUZADA, M. J. Q.; OLIVEIRA FILHO, A. B. de. Radiopacity of
605 restorative materials using digital images. **J. Appl. Oral Sci.**, v. 14, n. 2, p. 147–152, 2006.
- 606
- 607 SCHEIBEL, P. C.; MATHEUS, P. D.; ALBINO, C. C. et al. Correlação entre a densidade
608 óssea mandibular , femural , lombar e cervical. **Rev. Dent. Press Ortodon. Ortop. Facial.**, v.
609 14, n. 4, p. 111–122, 2009.
- 610
- 611 SHAWWA, K.; ARABI, A.; NABULSI, M. et al. Predictors of trabecular bone score in
612 school children. **Osteop. Int.**, v. 27, n. 2, p. 703–710, 2016.
- 613
- 614 SINGH, S. V.; AGGARWAL, H.; GUPTA, V. et al. Measurements in mandibular
615 pantomographic X-rays and relation to skeletal mineral densitometric values. **J. Clin.**
616 **Densitom.**, v. 19, n. 2, p. 255–261, 2016.
- 617
- 618 SOUTHARD, K. A.; SOUTHARD, T. E. Detection of simulated osteoporosis in human
619 anterior maxillary alveolar bone with digital subtraction. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral**
620 **Pathology**, v. 78, n. 5, p. 655–661, 1994.
- 621
- 622 SPEAKMAN, J.; BOOLES, D.; BUTTERWICK, R. Validation of dual energy x-ray
623 absorptiometry (DXA) by comparison with chemical analysis of dogs and cats. **Int. J. Obes.**
624 **Relat. Metabol. Dis.**, v. 25, p. 439–447, 2001.
- 625
- 626 SRITARA, C.; THAKKINSTIAN, A.; ONGPHIPHADHANAKUL, B. et al. Age-adjusted
627 dual X-ray absorptiometry–derived trabecular bone score curve for the lumbar spine in thai
628 females and males. **J. Clin. Densitom.**, v. 19, n. 4, p. 494–501, 2016.
- 629
- 630 STERMAN, F.A. **Avaliação da densidade mineral óssea em eqüinos atletas destinados ao**

- 631 **enduro eqüestre pelo método de densitometria óptica radiográfica.** 2001. 47 f. Tese
 632 (Livre-Docência) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São
 633 Paulo, 2001.
- 634
- 635 TAKESHITA, Y.; SHIMIZU, M.; OKAMURA, K. et al. A new method to evaluate image
 636 quality of CBCT images quantitatively without observers. **Dentomaxillof. Radiol.**, v. 46, n.
 637 3, p. 1–8, 2017.
- 638
- 639 TOLJAMO, P. S.; PULKKINEN, P.; LAMMENTAUSTA, E. et al. Bone mineral density and
 640 geometry parameters determined in vitro from dual-energy digital radiography images in the
 641 assessment of bone maximal load of reindeer femora. **Acta Radiol.**, v. 54, n. 8, p. 961–965,
 642 2013.
- 643
- 644 TROUERBACH, W.T.; STEEN, W.H.A.; ZWAMBORN, A.W. et al. A study of the
 645 radiographic aluminum equivalent values of the mandible. **Oral Surg.**, v.58, p. 610-616,
 646 1984.
- 647
- 648 TUTTLE, C. Densitometry and photographic printing. illumination of the negative and its
 649 effect upon density. **J. Optic. Soc. Am.**, v. 24, n. 1890, p. 272–278, 1934.
- 650
- 651 WACHTER, N. .; AUGAT, P.; MENTZEL, M. et al. . Predictive Value of Bone Mineral
 652 Density and Morphology Determined by Peripheral Quantitative Computed Tomography for
 653 Cancellous Bone Strength of the Proximal Femur. **Bone**, v. 28, n. 1, p. 133–139, 2001.
- 654
- 655 WEATHERHOLT, A. M.; FUCHS, R. K.; WARDEN, S. J. et al. Comparative study of bone
 656 optical density obtained in panoramic radiographs and bone densitometry in non-
 657 hysterectomized and hysterectomized women. **J. Med. Radiat. Scienc.**, v. 11, n. 1, p. 149–
 658 153, 2016.

CAPÍTULO 3 - InkScape®

1. Considerações Gerais

Neste anexo, utilizou-se a título de buscar melhorias na predição das variáveis de tons de cinza, o programa InkScape® para também obter a dRad, não se trata de nenhum experimento, apenas mais uma ferramenta utilizada para a determinação da dRad.

Para uma correta análise densitométrica é de fundamental importância a padronização da radioluscência e radiopacidade das imagens radiográficas, isto é, o brilho na imagem radiográfica. Um dos métodos para predição da DR pode ser realizado através da mensuração do enegrecimento do filme por um fotodensitômetro que compara a intensidade da luz que entra em uma determinada área de um lado do filme revelado, com a intensidade daquela luz quando ele emerge pelo outro lado (LANDIM, 2002).

Na conversão dos tons de cinza em números de 0 (preto) a 255 (branco) feitos antes pelo ImageJ® foi realizada a conversão hexadecimal que proporcionou em porcentagem para cada tons de cinza em particular.

Os dados obtidos de dRad pelo ImageJ® nos degraus da escada de alumínio mostram a grande variabilidade que um mesmo degrau pode oferecer em diferentes radiografias.

Desta maneira, foram caracterizados quatro pontos fora das imagens das amostras de tecido ósseo, capturando a penumbra da irradiação dos corpos dentro dos vértices um retângulo tangente às bordas do corpo e quadro pontos dentro do corpo, sendo três na diagonal e um fugidio a esta, onde foi determinado o brilho da radiografia (Figura 1).

Realizado a conversão hexadecimal de cores RGB para HSV e sua fórmula de conversão, obteve-se os seguintes valores R , G , B divididos por 255 para alterar o intervalo de 0 a 255 para 0 a 1:

$$R' = R / 255$$

$$G' = G / 255$$

$$B' = B / 255$$

$$C_{max} = \max (R', G', B')$$

$$C_{min} = \min (R', G', B')$$

$$\Delta = C_{max} - C_{min}$$

Utilizou-se a seguinte formulação para os respectivos cálculos:

Cálculo de matiz:

$$H = \begin{cases} 0^\circ & \Delta = 0 \\ 60^\circ \times \left(\frac{G' - B'}{\Delta} \bmod 6 \right) & , C_{max} = R' \\ 60^\circ \times \left(\frac{B' - R'}{\Delta} + 2 \right) & , C_{max} = G' \\ 60^\circ \times \left(\frac{R' - G'}{\Delta} + 4 \right) & , C_{max} = B' \end{cases}$$

Cálculo de saturação:

$$S = \begin{cases} 0 & , C_{max} = 0 \\ \frac{\Delta}{C_{max}} & , C_{max} \neq 0 \end{cases}$$

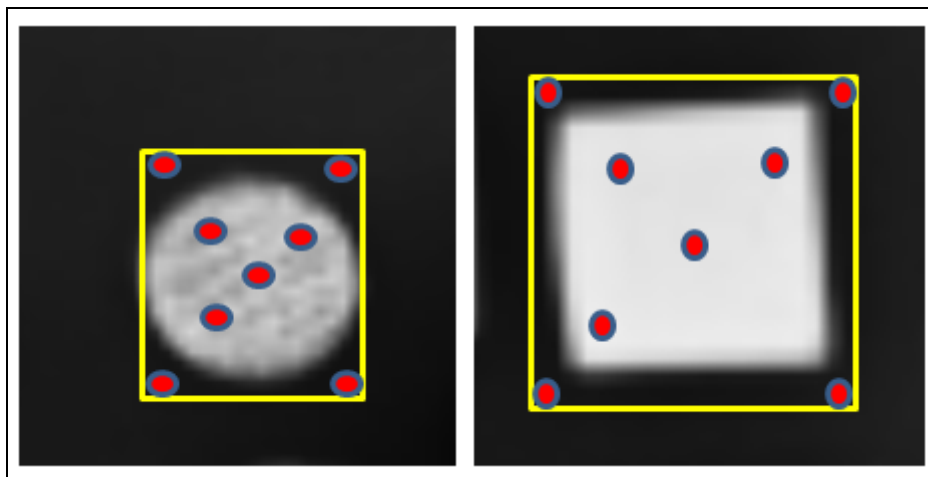
Cálculo de brilho:

$$V = C_{max}$$

Valores RGB estão no intervalo de 0 a 255, sendo os valores de HSV estão na faixa de matiz: 0 a 359 °; saturação: 0 a 100%; brilho: 0 a 100%.

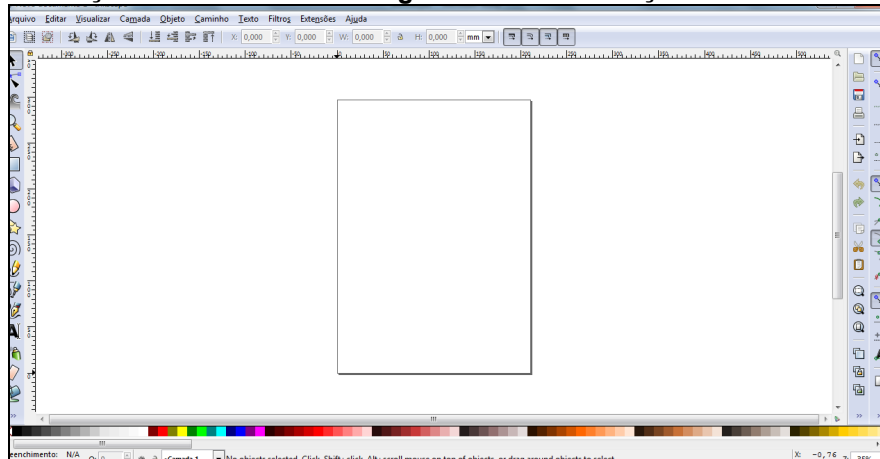
Os valores de HSL estão na faixa de matiz: 0 a 359 °; saturação: 0 a 100%; luminosidade: 0 a 100%.

Figura 1 - Diagrama de coleta e análise no programa InkScape®.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 2 – Template do Software Inkscape® utilizado para a avaliação da Densidade Radiográfica na mensuração do brilho.



Fonte: Arquivo pessoal.

2. Predição de densidade mineral óssea

Considere y como o valor de DMO para uma determinada observação. O objetivo desta análise foi realizar a predição $\hat{y}$ através do dado de densidade radiográfica x , de forma que:

$$\hat{y} = a + x\hat{b}$$

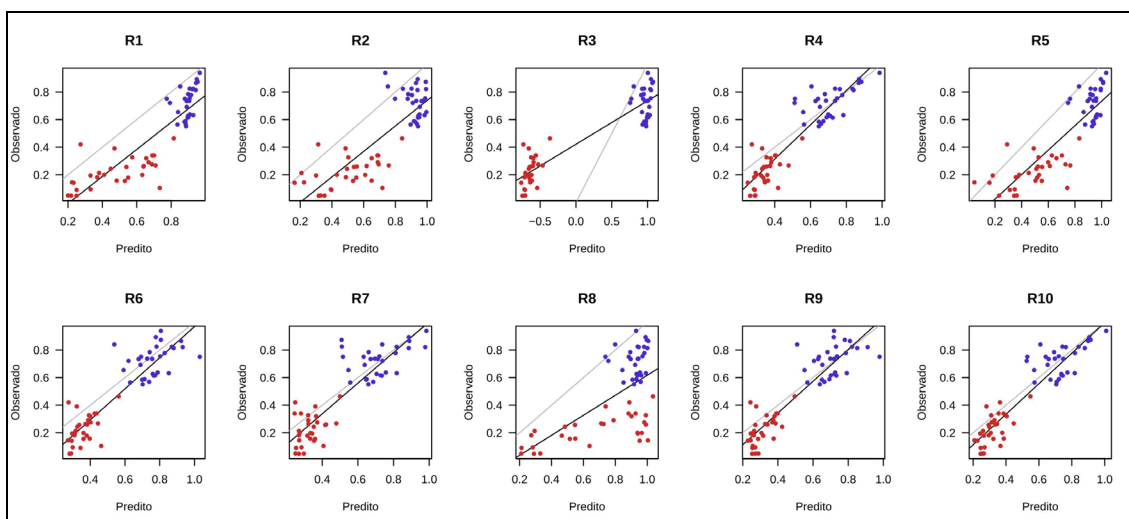
onde a e $\hat{b}$ são os parâmetros de um modelo linear simples estimados por meio das equações de mínimos quadrados ordinários. O ajuste deste modelo linear foi realizado apenas com os dados da referência de escada de alumínio de cada imagem radiográfica. Como detalhado anteriormente, a densidade radiográfica foi obtida como valor de brilho no software Inkscape® ou como tom de cinza no software ImageJ®. Para cada imagem radiográfica, o erro de predição foi avaliado por meio do cálculo da soma de quadrados:

$$\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$$

onde, relativo ao bloco i , y_i e $\hat{y}_i$ representam os valores observado e predito de DMO, respectivamente. Quanto menor a soma de quadrados, maior é a acurácia de predição. Os valores observados foram também regredidos contra os valores preditos para a obtenção das métricas de correlação (raiz quadrada do coeficiente de determinação), viés (intercepto) e inflação (coeficiente angular) da predição. Quanto mais os valores preditos se aproximarem dos valores observados, mais próximos os valores de correlação, viés e inflação estarão de 1, 0 e 1,

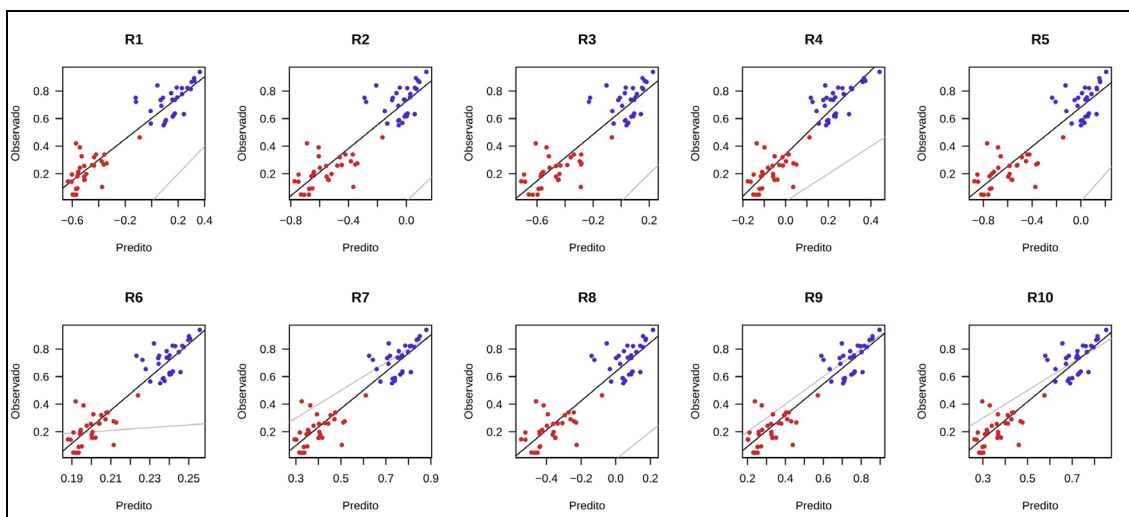
respectivamente. Finalmente, foi verificada a associação entre estas métricas de qualidade de predição e a densidade radiográfica do plano de fundo das imagens radiográficas.

Figura 3 - Regressão de valores observados contra valores preditos de densidade mineral óssea obtidos por meio da mensuração de densidade óptica radiográfica com o software Inkscape® em dez imagens radiográficas (R1 - R10).



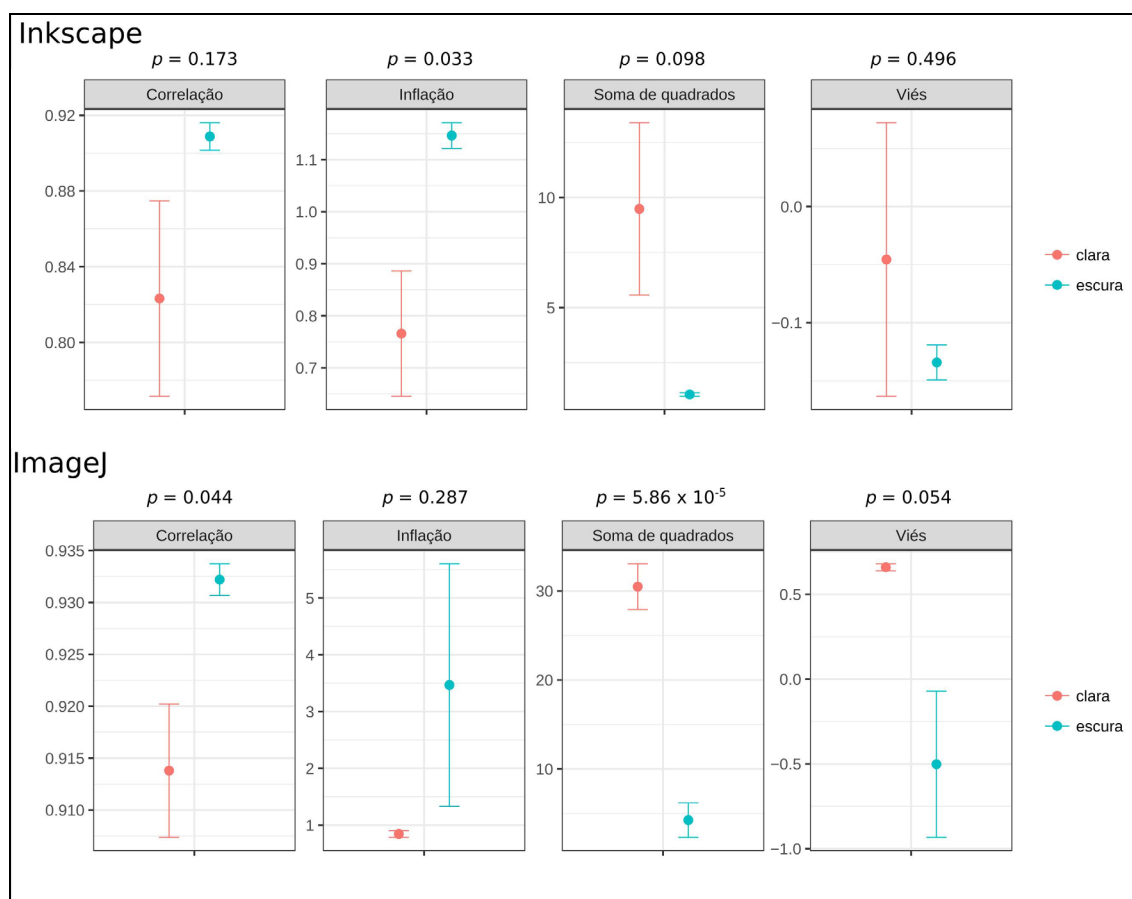
Pontos vermelhos e azuis representam blocos trabeculados e corticais, respectivamente. A linha preta demonstra a reta de ajuste da regressão, enquanto que a linha cinza representa uma reta hipotética de ajuste perfeito entre valores observados e preditos.

Figura 4 - Regressão de valores observados contra valores preditos de densidade mineral óssea obtidos por meio da mensuração de densidade óptica radiográfica com o software ImageJ® em dez imagens radiográficas (R1 - R10).



Pontos vermelhos e azuis representam blocos trabeculados e corticais, respectivamente. A linha preta demonstra a reta de ajuste da regressão, enquanto que a linha cinza representa uma reta hipotética de ajuste perfeito entre valores observados e preditos.

Figura 5 - Diferenças de desempenho médio de predição de densidade mineral óssea por meio de densidade óptica radiográfica medida com dois softwares (Inkscape® e ImageJ®) entre imagens claras e escuras.



Valores de probabilidade acima de cada métrica de desempenho referem-se a um teste *t* para diferenças de médias entre grupos. Pontos representam estimativas de média, enquanto que barras de erro representam o erro padrão da média.

3. Resultados

Em comparação aos dados de tom de cinza obtidos com o software ImageJ, os dados de brilho provenientes do software Inkscape produziram predições mais acuradas, menos viesadas e menos inflacionadas (Tabela 1, Figura 1 e Figura

2). No entanto, os dados do ImageJ produziram maiores correlações entre valores preditos e observados de DMO. Foram observadas diferenças significativas nas predições realizadas com base em imagens radiográficas com plano de fundo claro e escuro com ambos os softwares (Figura 3). Imagens escuras produziram predições mais acuradas (i.e., menor soma de quadrados e maior correlação) e menos deflacionadas do que imagens claras, embora não terem diferido em relação ao viés.

Tabela 1 - Desempenho de predição de densidade mineral óssea a partir de densidade óptica radiográfica medida por dois diferentes softwares e utilizando escadas de alumínio como padrão referencial.

Software	Radiografia	Plano de fundo ^a	Soma de quadrados	Correlação	Viés	Inflação
Inkscape	R1	Claro (16.1%)	3.927	0.873	-0.204	0.980
	R2	Claro (19.7%)	4.894	0.826	-0.184	0.922
	R3	Claro (21.0%)	24.641	0.927	0.421	0.315
	R4	Escuro (0.9%)	1.012	0.920	-0.182	1.240
	R5	Claro (19.8%)	4.475	0.863	-0.153	0.887
	R6	Escuro (1.2%)	1.291	0.907	-0.157	1.126
	R7	Escuro (1.0%)	1.178	0.882	-0.107	1.111
	R8	Claro (17.2%)	9.474	0.627	-0.108	0.725
	R9	Escuro (1.0%)	0.915	0.912	-0.117	1.150
	R10	Escuro (1.0%)	0.862	0.923	-0.108	1.105
ImageJ	R1	Claro (16.1%)	25.887	0.937	0.602	0.752
	R2	Claro (19.7%)	36.306	0.903	0.725	0.855
	R3	Claro (21.0%)	29.304	0.901	0.654	0.843
	R4	Escuro (0.9%)	10.048	0.927	0.341	1.517
	R5	Claro (19.8%)	36.641	0.912	0.683	0.713
	R6	Escuro (1.2%)	7.751	0.931	-2.166	12.009
	R7	Escuro (1.0%)	1.498	0.933	-0.300	1.335
	R8	Claro (17.2%)	24.293	0.916	0.635	1.056
	R9	Escuro (1.0%)	0.844	0.936	-0.133	1.133
	R10	Escuro (1.0%)	1.102	0.934	-0.252	1.340

^a valores entre parênteses indicam o percentual de brilho da imagem radiográfica

4. Conclusão

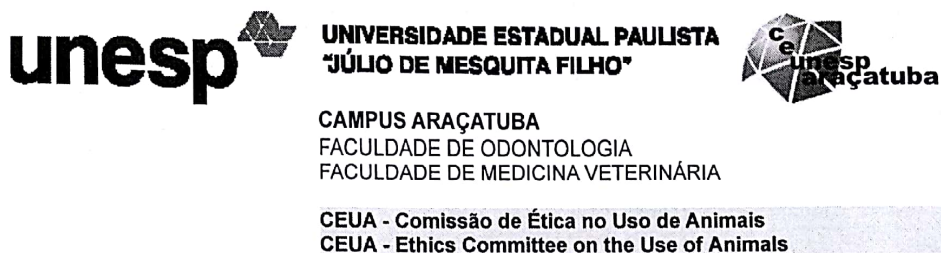
Conclui-se que em comparação aos dois softwares observados as radiografias mais escuras produziram predições mais acuradas de tom de cinza obtidos com o software ImageJ® em relação as mais claras enquanto os dados de brilho provenientes do software Inkscape® produziram predições mais acuradas, menos viesadas e menos inflacionadas.

Os dados do ImageJ® produziram maiores correlações entre valores preditos e observados de DMO.

5. Referência

LANDIM, K. T.; JUNQUEIRA, J. C.; ROCHA, R. F. Influência da sinvastatina na reparação de mandíbulas de ratas. **PGR – Pós- Grd. Rev. Fac. Odont. São José dos Campos**. v. 5, n. 1, p. 78-84,abri. 2002.

Figura 6 - CEUA, sob o processo FOA nº 00143-2018.



CERTIFICADO

Certificamos que o Projeto de Pesquisa intitulado **“Correlação entre densidade radiográfica – DR e DXA: Estudo “in vitro”**, Processo FOA nº 00143-2018, sob responsabilidade de Guilherme de Paula Nogueira apresenta um protocolo experimental de acordo com os Princípios Éticos da Experimentação Animal e sua execução foi aprovada pela CEUA em 09 de Março de 2018.

VALIDADE DESTE CERTIFICADO: 02 de Abril de 2018.

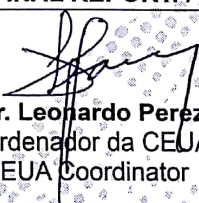
DATA DA SUBMISSÃO DO RELATÓRIO FINAL: até 30 de Abril de 2019.

CERTIFICATE

We certify that the study entitled **“Correlation between radiographic density – DR and DXA: In vitro study”**, Protocol FOA nº 00143-2018, under the supervision of Guilherme de Paula Nogueira presents an experimental protocol in accordance with the Ethical Principles of Animal Experimentation and its implementation was approved by CEUA on March 09, 2018.

VALIDITY OF THIS CERTIFICATE: April 02, 2018.

DATE OF SUBMISSION OF THE FINAL REPORT: April 30, 2019.


Prof. Ass. Dr. Leonardo Perez Faverani
 Coordenador da CEUA
 CEUA Coordinator

CEUA - Comissão de Ética no Uso de Animais
 Faculdade de Odontologia de Araçatuba
 Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba
 Rua José Bonifácio, 1193 – Vila Mendonça - CEP: 16015-050 – ARAÇATUBA – SP
 Fone (18) 3636-3234 Email CEUA: ceua@foa.unesp.br